

# Le bilan énergétique de la culture du palmier à huile

## Une approche

G. MARTIN (1)

**Résumé.** — Grâce à un pouvoir calorifique moyen des huiles de palme et de palmiste, proche de celui du gas-oil, les plantations industrielles peuvent produire un équivalent énergétique important de l'ordre de 4,7 TEP/ha. Par rapport à cette potentialité, on a tenté, par l'examen estimatif de sa biomasse et de l'énergie dépensée pour la produire, d'apprécier le « degré d'efficacité » de cette culture et de déterminer l'influence des principaux paramètres sur sa gestion énergétique. *A priori*, avec un degré d'efficacité de 3,7, le bilan est satisfaisant. De nombreux éléments, actuellement mal connus, restent toutefois à étudier si l'on veut mieux connaître et utiliser les disponibilités énergétiques du palmier à huile.

### INTRODUCTION

On caractérise généralement le « rendement financier » d'une culture par un indice déterminé à partir d'un rapport simple entre les recettes et les dépenses engagées pour les obtenir.

L'examen de cet indice suffit parfois à améliorer l'efficacité économique de l'exploitation en agissant sur le ou les composants du numérateur ou du dénominateur.

La crise de l'énergie de 1974 a mis à l'ordre du jour une autre forme d'analyse, appelée « Bilan énergétique », dans le but de comparer l'énergie potentielle, produite par la plante, à l'énergie fournie. Ce rapport est donc similaire, et il est intéressant d'observer que ce moyen d'appréciation, mis au point dans un souci d'économie face à l'incertitude d'approvisionnement en énergie fossile, et dans le but d'étudier la « biomasse » disponible, s'est avéré complémentaire de l'analyse économique précitée. En effet, il peut définir le « potentiel biologique » d'une culture dans des conditions agronomiques et techniques données ou, au contraire, mesurer « l'efficacité agricole » des solutions adoptées (W. Hutter, I.N.R.A.).

Le rapprochement de deux bilans énergétiques globaux peut aussi permettre d'apprécier l'efficacité respective des situations étudiées ou la révision politique énergétique de la culture. Il peut enfin permettre, à travers l'examen de bilans partiels, d'estimer l'efficacité énergétique d'une technique précise comme, par exemple : l'effet du coût énergétique de la fertilisation sur la production, l'effet des traitements phytosanitaires sur la production, etc.

### I. — LES COMPOSANTS DU BILAN

L'agriculture livre des produits alimentaires (ou industriels consommables) et des produits non consommables (matière verte, bois, déchets) qui ont des valeurs énergétiques mesurables avec une même unité. Pour les obtenir, il convient de fournir un travail qui fait appel à deux types d'énergie : une directe pour le réaliser (électricité, carburant, combustible), et une indirecte (outils, engrais et produits divers) qui prend en compte l'énergie calculée pour leur fabrication lors de leur utilisation.

#### a) Les produits.

Le palmier à huile produit deux huiles (palme et palmiste), des rafles provenant de la séparation des fruits

de l'inflorescence, des fibres qui résultent de l'extraction de l'huile de la pulpe, et des coques après concassage des noix pour l'obtention de l'amande. Il produit également des feuilles et, chaque année, son stipe s'allonge de 40 à 60 centimètres.

Les coques et les fibres résultant de l'usinage ont été très rapidement utilisées comme source d'énergie pour produire la vapeur nécessaire aux traitements des fruits. Mais les diverses exploitations ne les utilisent pas nécessairement en totalité, d'autant qu'il faut disposer de chaudières spécialement conçues. Les rafles ne sont pas, non plus, toujours brûlées pour obtenir les cendres, riches en éléments minéraux (potassium et magnésium). Le reste de la matière verte (feuilles) est enfin laissé sur le sol afin qu'elle puisse se décomposer lentement en restituant matière organique et éléments minéraux.

#### b) Les moyens consommés.

Plante pérenne, le palmier, cultivé intensivement, produit pendant une vingtaine d'années à partir de l'âge de 2 ans et demi/3 ans. Il nécessite l'emploi de main-d'œuvre, de moyens mécaniques, de produits, depuis la préparation des terres et tout au long de son développement pour l'entretien, la fertilisation, les traitements phytosanitaires et la récolte. Comme sa production doit être traitée dans les 24 heures après la coupe, l'exploitation d'une palmeraie implique la construction d'une usine sur la plantation même et par conséquent l'utilisation d'une certaine quantité d'énergie et le rejet, en fin de fabrication, d'une quantité d'effluents.

### II. — LES ÉLÉMENTS DE CALCULS

#### a) Les produits agricoles.

Un bois à 80 p. 100 d'humidité a un pouvoir calorifique de 1 000 à 2 000 kcal/kg de matière. Son pouvoir calorifique est d'environ 4 000 kcal/kg à 10 p. 100, c'est-à-dire lorsqu'il est débarrassé de la plus grande partie de son humidité constitutive. La connaissance précise du taux d'humidité étant donc un facteur essentiel, on a convenu pour la suite de l'étude (par souci de commodité) de calculer toutes les données de la biomasse à l'aide d'une valeur moyenne du pouvoir calorifique de 4 000 kcal/kg, correspondant à une donnée approximativement commune aux produits végétaux contenant environ 10 p.

(1) Ing. IAN, Directeur adjoint du Département Palmier de l'I.R.H.O., 11, sq. Pétrarque, 75016 Paris (France).

100 d'humidité (2,5 kg de matière sèche équivalent à environ 1 kg de fuel oil). On adoptera une valeur un peu supérieure pour certains produits plus riches en carbone, comme les coques des noix de palme soit, par exemple, 5 500 kcal/kg à 10 p. 100 d'humidité.

Pour évaluer la chaleur de combustion de l'huile, on s'est référé à la relation de Bentrant :

$$W \text{ (exprimé en kcal/kg)} = (11\,380 - IJ) - (9,15 \times IS)$$

(IJ = indice d'iode et IS = indice de saponification)

qui donne ainsi : 9 500 kcal/kg pour l'huile de palme et 9 073 kcal pour l'huile de palmiste.

## b) Les matières consommées.

Les dépenses directes en électricité, carburants et combustibles sont estimées conformément aux données relevées dans la littérature. Pour les dépenses indirectes concernant les outils, on a adopté une formule simple qui fait intervenir l'énergie moyenne nécessaire à leur fabrication, le nombre total d'heures d'utilisation avant renouvellement et le nombre d'heures d'emploi annuel. Par exemple :

$$\frac{(x \text{ kcal/kg} \times \text{poids du matériel en kg}) \times \text{nombre d'heures/an}}{\text{nombre total d'heures utilisables}}$$

## c) Analyse du bilan.

Avant d'analyser le degré d'efficacité du bilan, il convient de rappeler que le numérateur du rapport :

$$I_e = \frac{\text{énergie produite}}{\text{énergie consommée}}$$

évolue selon la productivité de la plante et l'intensité d'emploi des matières produites. Certaines exploitations de palmiers à huile n'utilisant pas (ou n'utilisant que partiellement) les fibres et les coques, ces valeurs ne peuvent pas être (ou ne peuvent être que proportionnellement) intégrées au terme supérieur de la fraction. Par conséquent, plus on tire profit de la matière produite par rapport à l'énergie consommée, plus on améliore le bilan. Dans le cas contraire, c'est la réduction du dénominateur (économie d'énergie) qui permet d'obtenir le même résultat.

Si l'on voulait être très précis, les diverses pertes (huile, déchets) devraient être portées au débit du bilan, en revanche, la valeur énergétique des tourteaux de palmiste, ou les quantités d'éléments minéraux restitués par la décomposition de la matière verte laissée sur le sol, devraient aller au crédit. En réalité, il n'est pas toujours utile de procéder à une analyse aussi détaillée. Il suffit de disposer des éléments nécessaires à la mise en évidence des paramètres les plus importants et des problèmes essentiels pour lesquels des mesures correctives peuvent être prises.

## d) Les éléments de base.

On a convenu d'exprimer le pouvoir énergétique en kilojoules (kJ) :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kilocalorie} &= 4,185 \text{ kilojoules,} \\ 1 \text{ TEP (tonne équivalent pétrole)} &= 10\,000 \text{ thermies,} \\ &= 10 \times 10^6 \text{ kcal,} \\ &= 41,85 \times 10^6 \text{ kJ ;} \end{aligned}$$

- 1 kg d'huile de palme = 39 758 kJ ;
- 1 kg d'huile de palmiste = 37 971 kJ ;
- 1 l d'essence = 46 880 kJ ;

- 1 l de gas-oil = 41 850 kJ ;
- 1 kg de matière végétale à 10 p. 100 d'humidité = 16 700 kJ (bois, pétioles, feuilles, rafles) ;
- 1 kg de coques (forte teneur en carbone) à 10 p. 100 d'humidité = 23 000 kJ ;
- 1 kg de charbon de terre = 33 480 kJ ;
- Travail de l'homme = 5 442 kJ/jour de travail ;
- Fabrication de machines, engins, tracteurs = 71 982 kJ/kg de poids ;
- Construction de bâtiments, génie civil = 100 464 kJ/m<sup>2</sup> de surface ;
- Pour production d'électricité = 10 000 kJ/kilowatt-heure,
- Engrais
  - = 83 700 kJ/kg d'élément N rendu plantation,
  - = 8 370 kJ/kg de K<sub>2</sub>O rendu plantation,
  - = 12 555 kJ/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rendu plantation,
  - = 20 225 kJ/kg de MgO rendu plantation,
  - = 41 850 kJ/kg de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rendu plantation ;
- Produits phytosanitaires (Produits commerciaux) = 100 440 kJ/kg de P.C. ;
- Irrigation = 3,6 × 10<sup>6</sup> kJ/ha/an ;
- Transport : selon les normes anglaises converties, on estime à 1 674 kJ/tonne kilométrique la dépense énergétique (# 40 l gas-oil aux 100 km pour un camion de 10 t), on peut estimer que le transport des produits, carburants, approvisionnements, engrais, matériel (internes ou externes à la plantation) est égal au double de l'huile produite, et la distance moyenne arbitrairement fixée à celle de l'agglomération importante la plus proche ;
- Usage de l'avion (titre indicatif) = 26 156 kJ/tonne kilométrique.

## III. — BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UNE PLANTATION DE PALMIERS À HUILE

Pour la commodité de l'exposé, on a convenu de choisir une unité de 5 000 hectares, plantée en matériel végétal de bonne qualité, située soit dans une région de bons sols présentant un déficit hydrique annuel de 200 mm, soit dans une région de sols moyens avec un faible déficit hydrique, c'est-à-dire, ayant une potentialité de l'ordre de 22 t de régimes/ha.

Le tableau I en résume les principales caractéristiques, et on trouvera dans le tableau II les éléments matériels correspondants.

Dans le tableau III, on a estimé la valeur énergétique amortissable dont la quote-part annuelle doit intervenir au bilan.

Le tableau IV et la figure 1 concernent les produits, et le tableau V, les matières consommées.

## IV. — DISCUSSION (Tabl. IV)

Grâce à un pouvoir calorifique moyen des huiles de palme et de palmiste, proche de celui du gas-oil, les plantations industrielles peuvent produire un équivalent énergétique important, de l'ordre de 4,7 TEP/ha. Mais il est intéressant d'observer que la somme des pouvoirs calorifiques des coques et des fibres est quasi équivalente à la quantité d'énergie nécessaire à l'unité d'extraction (1,0 TEP pour 1,2 TEP). Il suffit donc de procéder à l'installation de chaudières mixtes, ou adaptées à l'alimentation par les coques et les fibres, pour réaliser de substantielles économies (financières et énergétiques) par rapport aux chaudières à fuel.

Toutefois, les pouvoirs calorifiques de ces matières sèches n'étant pas connus avec précision, il se peut que l'énergie obtenue par leur emploi soit supérieure à ce que l'on a estimé dans ce premier bilan.

TABLEAU I. — Données de base d'une plantation type. Quantité de matière verte et de produits

Surface en production : 5 000 ha.		
Production totale en tonnes de régimes 110 000 t = 22 t régimes/ha		
<div> <div>38 % rafles fraîches = 8,40 t à l'humidité de 75 %.</div> <div>1 %/tonnage régimes de cendres de rafles = 0,22 t.</div> </div>		
Taux d'extraction	— 21 p. 100 huile de palme	= 4 620 kg/ha,
	— 1,5 p. 100 huile de palmiste	= 330 kg/ha,
	— Tourteaux de palmiste	= 300 kg/ha environ (p. m.),
Coques = 5 p. 100 sur tonnage de régimes = 1 100 kg/ha — humidité 22 p. 100,		
Fibres = 9 p. 100 sur tonnage de régimes = 2 000 kg/ha — humidité 45 p. 100.		
Poids d'une feuille adulte = 10 kg dont 33 p. 100 de folioles et 67 p. 100 pétioles et rachis.		
Nombre de feuilles produites par an = 25.		
Nombre d'arbres/hectare producteur = 135.		
Croissance moyenne du stipe = 60 cm/an.		
Poids vert du stipe = 2,400 kg/cm à 75 p. 100 d'humidité.		

TABLEAU II. — Eléments moyens de calcul - Matériel

<b>Moyens en matériel pour défrichage, préparation, routes, entretien, transport, encadrement, etc.</b>		
Tracteurs de 200 CV	— Amortissement 8 000 h	20 tonnes/tracteur,
Tracteurs de 150 CV	— Amortissement 8 000 h	14 tonnes/tracteur,
Engins travaux publics de 150 CV	— Amortissement 8 000 h	15 tonnes/engin,
Tracteurs 80 CV	— Amortissement 6 000 h	4 tonnes/tracteur,
Camions de 8 tonnes	— Amortissement 100 000 km	6 tonnes/camion,
Véhicules de liaison et encadrement divers	— Amortissement 50 000 km	1,5 tonne/véhicule,
Matériel agricole : pour mémoire.		
<b>Bâtiments</b>		
Logements cadres, cadres subalternes et travailleurs		50 000 m <sup>2</sup> (= 10 m <sup>2</sup> /ha),
Services (atelier, garage, infrastructure sociale, hangar)		5 000 m <sup>2</sup> (= 1 m <sup>2</sup> /ha).
<b>Usine</b>		
40 tonnes de régimes/heure de capacité	— 3 000 heures fonctionnement/an,	
Surface de génie civil — plateforme	— 20 000 m <sup>2</sup> (4 m <sup>2</sup> /ha),	
Poids total — équipement	— 1 700 tonnes (0,34 t/ha).	
<b>Consommation standard</b>		
Tracteur Diesel : 0,12 l gas-oil/CV/heure,		
Véhicule essence : 0,19 l essence/CV/heure,		
Utilisation moyenne : 1 500 heures/an,		
Usine : 500 kg vapeur/t de régimes. Pour produire la vapeur et l'électricité nécessaires, il faudrait 680 Kcal/kg de vapeur avec un rendement global de 65 p. 100 soit 4 185 kJ/kg de vapeur,		
Production électrique de complément pour logements et services : environ 1 lampe de 100 Watts pendant 5 heures/jour, soit : 1 100 personnes et 365 jours, 2 millions de kWh (400 kWh/ha),		
Charbon pour chauffage ménager : environ 1 kg/jour/travailleur.		

TABLEAU III. — Valeurs énergétiques investies et amortissables

Création (valeur amortissable s/20 ans) de n1 à n2 (3-4 ans)		× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Main-d'œuvre : 152 j/ha		8,27
Tracteur 200 CV 8 heures — consommation/ha 192 l (8,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus val. énerg. × 8 h (1)		9,47
Tracteur 150 CV 10 heures — consommation/ha 180 l (7,5 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus val. énerg. × 10 h		8,75
Tracteur 80 CV 15 heures — consommation/ha 145 l (6,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus val. énerg. × 15 h		6,73
Véhicules légers — transports divers — 20 000 km/an/véhicule + 400 t/km		0,68
Engrais : azotés 285 kg = 57 kg N/ha		4,77
potassiques 230 kg = 138 kg K <sub>2</sub> O /ha		1,16
phosphatés 120 kg = 48 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha		0,60
magnésiens 195 kg = 59 kg MgO /ha		1,24
boratés 45 kg = 20 kg B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ha		0,84
Herbicide : 5 kg		0,50
Insecticide : 25 kg		2,51
Bâtiments : 11 m <sup>2</sup> /ha		1,11
Usine, bâtiment + équipement 402 000 + 25 000		0,43
Total		47,06
Total amortissable/ha/an		2,38

(1) Voir chapitre II, alinéa b).

TABLEAU IV. — Bilan énergétique. — Produits (extrants) par ha de plantation (cf. Fig. 1)

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Huile de palme = 4 620 kg .....	183,0
Huile de palmiste = 330 kg .....	12,5
Rafles 8 360 kg/ha soit 2 322 kg de matière à 10 p. 100 d'humidité à 16 700 kJ/kg (1) .....	38,8
220 kg cendres équivalent à 66 kg de K <sub>2</sub> O + 11 kg MgO consommé .....	0,8
Coques 1 100 kg/ha à 10 p. 100 humidité = 950 kg à 23 000 kJ/kg .....	21,8
Fibres 2 000 kg/ha à 10 p. 100 humidité = 1 220 kg à 16 700 kJ/kg .....	20,4
<b>Partie verte (75 p. 100 humidité)</b>	
Feuilles : 25 × 10 kg × 135 = 33 750 kg (dont 11 100 de folioles)	
Valeur des pétioles et rachis = 6 280 kg à 10 p. 100 d'humidité .....	104,9
Valeur des folioles sèches = 3 083 kg à 10 p. 100 d'humidité .....	51,5
Stipe : 60 cm × 2,4 kg × 135 = 19,4 t × 25 p. 100 = 5 400 kg à 10 p. 100 d'humidité .....	(90,2)
Il faut noter que les folioles contiennent des éléments minéraux dans les proportions suivantes :	
— 2,5 p. 100 N # 69 kg/ha,	
— 0,150 p. 100 P # 4,2 kg (9,6 P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/ha.	
— 1,0 p. 100 K # 27,7 kg (33,4 K <sub>2</sub> O)/ha.	
représentant un équivalent énergétique en engrais de	
— 5,8 × 10 <sup>6</sup> pour N/ha	
— 0,12 × 10 <sup>6</sup> pour P/ha	
— 0,28 × 10 <sup>6</sup> pour K/ha	
Total .....	6,2 × 10 <sup>6</sup> /ha
équivalant également à 345 kg de sulfate d'ammoniaque du commerce,	
24 kg de super phosphate triple du commerce,	
46 kg de chlorure de potasse du commerce,	
415 kg/ha.	

(1) On suppose que la biomasse est ramenée à environ 10 p. 100 d'humidité.

FIG. 1. — Productions du palmier à huile en TEP/ha/an (Palm products in TPE/ha/year - Productos de la palma en TEP/ha/año).

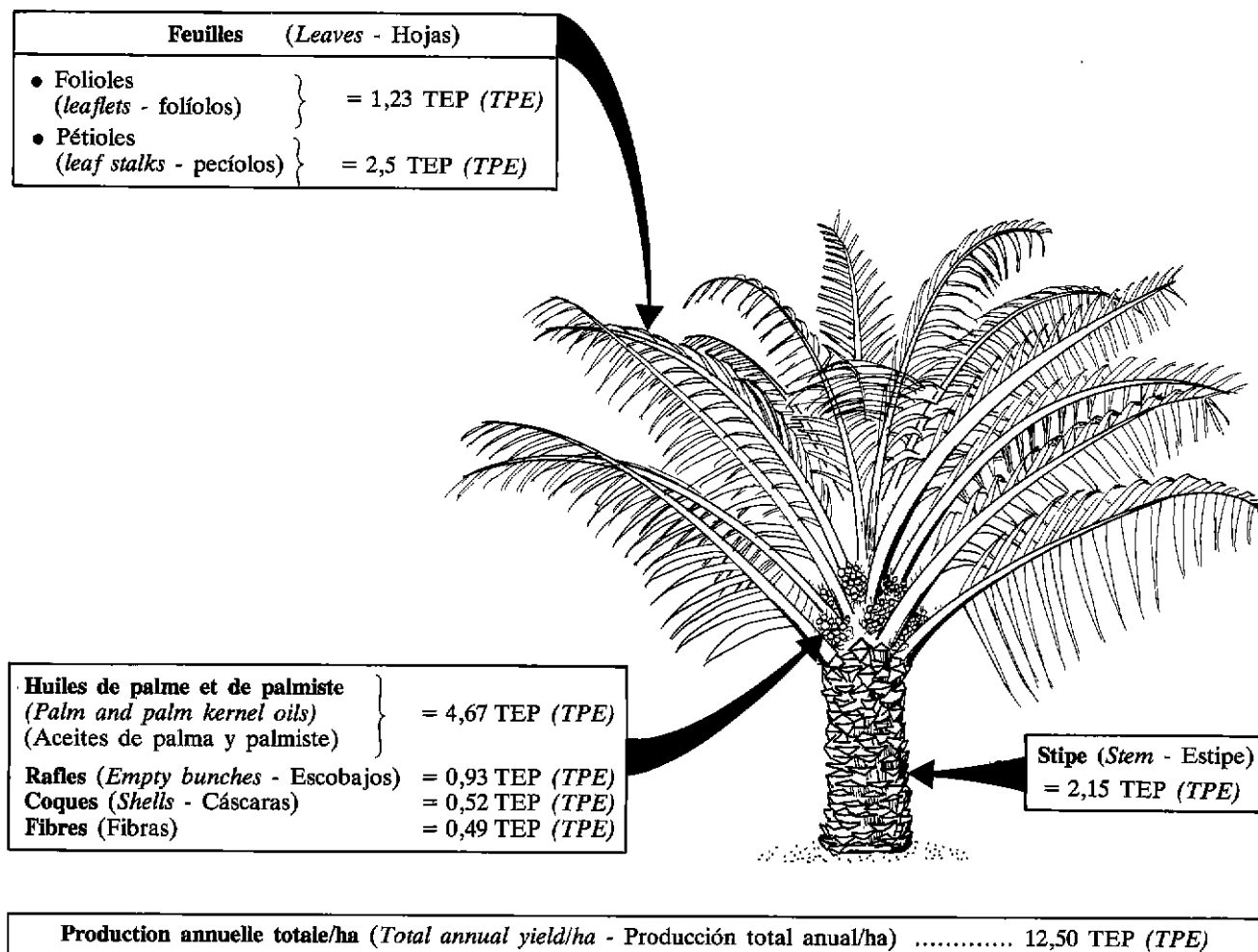




TABLEAU V. — Produits consommés (intrants) par ha de plantation

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
<b>Directs</b>	
Energie électrique : $\frac{2 \text{ millions de kWh}}{5\,000 \text{ ha}} = 400 \text{ kWh} \times 10\,000 \text{ kJ}$ .....	4,0
Usine (cf. tableau II) .....	46,0
<b>Exploitation</b>	
Tracteur lourd 150 CV : 2 heures/ha — 36 l/ha ( $1,5 \times 10^6$ kJ) .....	1,50
Tracteur léger 80 CV : 6 heures/ha — 58 l/ha .....	2,43
Transports divers : 800 t/km × 1 674 kJ/t/km .....	1,34
Charbon ménager : 1 kg/j/travailleur × 1 100 travailleurs × 365 j = 400 t .....	2,68
Véhicules légers : 20 000 km/an × 30 véhicules/5 000 ha .....	0,56
<b>Indirects</b>	
Tracteur lourd 150 CV — valeur énergétique en poids par heure × 2 heures .....	0,25
Tracteur léger 80 CV — valeur énergétique en poids par heure × 6 heures .....	0,29
Main-d'œuvre 58 jours .....	0,32
Engrais — sulf. N (1) : 0	
— CIK : 225 kg = 135 kg/K <sub>2</sub> O = $1,13 \times 10^6$	
— sulf. Mg : 150 kg = 45 kg/MgO = $0,94 \times 10^6$	
— bore : 15 kg = 6,5 kg/B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = $0,27 \times 10^6$ .....	2,34
Cendres rentabilisées .....	0,80
Produits phytosanitaires (7 kg/ha) .....	0,70
Quote-part amortissable .....	2,10
<b>Total général</b> .....	<b>65,31</b>

(1) On a choisi un exemple où, à l'âge adulte, il est inutile d'employer des engrais azotés qui représentent une valeur énergétique élevée. Dans le cas de plantations utilisant, par exemple, 143 kg d'urée/ha (soit environ 57 kg d'N), les coûts « directs » doivent être majorés d'environ  $4,8 \times 10^6$  kJ, ce qui porte le total général à  $70,1 \times 10^6$  kJ/ha.

Au niveau des **matières consommées** (Tabl. V), on observe que les dépenses directes sont presque seules compressibles, mais aussi que les **engrais consommés**, si la formule ne comporte pas d'engrais azotés, ne sont pas plus coûteux du point de vue énergétique que le carburant-tracteur ou que le charbon ménager. Même avec de l'azote, le total engrais est équivalent au total des carburants consommés. Sachant toute l'importance qu'il convient d'attacher à la fertilisation pour le maintien de la production, il ne paraît donc pas rationnel de rechercher des économies dans ce domaine.

Si on ne comptabilise au numérateur du bilan énergétique que les produits utilisés par l'exploitation, on obtient divers degrés d'efficacité. A titre d'exemple, on peut imaginer trois hypothèses d'utilisation :

1. Huiles de palme et palmiste + cendres de rafles seulement.  $\left\{ \frac{196,3 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3,0 (-) \right.$
2. Huiles de palme et palmiste, cendres de rafles + coques et fibres en totalité.  $\left\{ \frac{238,5 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3,7 (+ 23 \%) \right.$
3. Huiles de palme et palmiste, cendres, coques et fibres + énergie des rafles et des feuilles (sous une forme à déterminer).  $\left\{ \frac{433,7 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 6,64 (+ 121 \%) \right.$

Une bonne partie des exploitations industrielles se situant entre les hypothèses 1 et 2 (très souvent en situation 2), le bilan énergétique de la culture du palmier est très satisfaisant.

Il est, en effet, convenablement placé par rapport à certaines valeurs d'efficacité citées par Carl W. Hall,

doyen du Collège de Génie rural de l'Université de l'Etat de Washington (colloque CENECA Paris — 27-29 février 1980) :

— Cultures en assolement .....	65
— Riz, haricots .....	41
— Maïs (récolte à la main) .....	30
— Canne à sucre .....	5,0
— Palmier .....	3,7
— Céréales .....	2,5
— Manioc .....	2,0
— Pomme de terre .....	1,6
— Bovins .....	0,3
— Aviculture .....	0,1

Le poste de dépenses directes le plus important reste l'usinage (70 p. 100 des dépenses), mais il s'agit d'une dépense proportionnelle à la production (dont l'énergie peut être assurée par les coques et les fibres résultant de la fabrication). Les dépenses indirectes, de par leur nature, ne sont pas très compressibles, le degré d'efficacité paraît donc sous la dépendance essentielle des produits au numérateur du bilan et des seules dépenses directes d'exploitation au dénominateur.

Il est intéressant d'observer par exemple dans l'hypothèse 2 (huiles + cendres + coques et fibres) qu'une baisse de production (*a priori* importante) de 15 p. 100 de régimes ne modifie le degré d'efficacité que de - 3,0 p. 100, en raison de la proportionnalité de la dépense d'énergie pour leur traitement, alors qu'un rendement d'extraction inférieur de 2 points au taux de 21 p. 100 joue un rôle plus important (- 8,0 p. 100).

Si dans cette même hypothèse 2, on imagine à l'inverse une situation de confort conduisant à multiplier par deux les dépenses d'électricité, de combustible ménager, de consommation en carburant pour les tracteurs et les véhicules, le rapport s'abaisse au degré 3,06, soit une réduction d'efficacité de - 17 p. 100.

L'interprétation d'un bilan énergétique s'avère donc complémentaire de celle d'un bilan économique. Elle

montre que certaines économies ne sont pas finalement souhaitables (engrais par exemple) alors que d'autres, *a priori* sans incidence notable, le sont (dépenses directes, carburants) et qu'il faut être attentif à l'utilisation maximale de l'énergie dépensée pour un meilleur profit financier (taux d'extraction).

## V. — AMÉLIORATION À APPORTER ET VOIES DE RECHERCHES POSSIBLES

Actuellement les rafles sont brûlées pour en obtenir des cendres destinées à fertiliser les plantations. Mais, les calories produites par cette combustion ne sont pas utilisées et c'est un sujet qui paraît devoir être abordé.

Vient ensuite celui concernant la **matière verte**. Les feuilles qui représentent environ 156 millions de kJ (soit 3,7 TEP/ha), négligées dans le calcul d'efficacité, présentent pourtant une potentialité à considérer avec attention.

### a) Les pétioles.

Peu décomposables, ils représentent à eux seuls 2,5 TEP/ha dans l'exemple choisi. Dans l'hypothèse où 100 kg de matière sèche pourraient donner 10 litres d'alcool (méthanol), **5 600 kg de matière totalement sèche/an correspondraient à 560 litres**. Sachant que l'on utilise environ 10 heures de tracteur/ha/an à 7-10 litres/heure pour faire les travaux agricoles et de manutention (soit 100 litres/ha/an seulement), la plantation disposerait d'un excédent théorique de près de 450 litres/ha/an.

### b) Les folioles.

Naturellement décomposables, elles sont supposées restituer l'équivalent de 415 kg d'engrais/ha (Tabl. IV).

Si on admet que le prix de la tonne équivalent-pétrole est de l'ordre de 250 \$ US, **un choix peut être fait** entre la valeur des engrais, qu'il faudrait acquérir pour compenser les pertes si l'on retire les feuilles de la plantation, et la valeur de l'équivalent énergétique de la matière sèche de ces folioles, c'est-à-dire, finalement, choisir entre acheter 415 kg d'engrais N, P et K, au prix moyen de 250 \$ US la tonne (soit 112 \$ US), et utiliser les folioles à d'autres fins pour produire 1,20 TEP (environ 300 \$ US).

Pour faire ce choix, il faudrait savoir si l'apport d'éléments minéraux au sol par la décomposition des folioles est réel et s'il est mesurable, et si la transformation de ces folioles en alcool ne coûtera pas plus cher que la différence entre la valeur des engrais à acquérir et la valeur de la source d'énergie obtenue à partir des folioles.

### c) Récupération de la matière verte avant replantation.

Lors du renouvellement de la plantation (au bout de 20 ans d'exploitation), la **matière verte** à éliminer avant replantation est de l'ordre de :

— 120 stipes de 2 500 kg verts	
= 300 000 × 25 p. 100 .....	75 000 kg secs
— 120 fois 20 feuilles de 10 kg verts	
= 24 000 × 25 p. 100 .....	6 000 kg secs
	<b>81 000 kg secs.</b>

Ces 80 tonnes représenteraient (réduites en copeaux combustibles)  $1,34 \times 10^9$  kJ, c'est-à-dire l'équivalent de 32 TEP/ha ou, transformées en alcool, 8 000 litres de méthanol.

### d) Les effluents d'huilerie.

Les effluents représentent 60 p. 100 du poids des régimes traités (45 p. 100 provenant de la clarification, 10 p. 100 des condensats des stérilisateurs et 5 p. 100 de l'hydrocyclone). En séparant, au préalable, l'eau des condensats et de l'hydrocyclone, les 45 p. 100 d'effluents restant contiendraient (Tabl. I) :

- 4 à 8 kg/m<sup>3</sup> de corps gras,
- 0,5 à 0,8 kg/m<sup>3</sup> d'azote,
- 1,3 à 2 kg/m<sup>3</sup> de potassium.

Il s'agit là de quantités non négligeables à l'échelon d'une plantation qui pourrait ainsi disposer d'environ **10 m<sup>3</sup>/ha/an** (soit **15 à 20 kg de potassium**) à titre de fertilisant si la concentration du contenu solide est possible (déshydratation en utilisant peut-être la chaleur de la combustion des rafles dans l'incinérateur) pour en faciliter l'épandage.

On pourrait également envisager la production de « biogaz » par fermentation anaérobie. A titre d'information, il existe en Malaisie, à proximité d'une usine de 60 t de régimes/heure de capacité, des digesteurs pour le traitement des effluents par voie anaérobie qui produisent 283 m<sup>3</sup> (10 000 cubic feet) de gaz par heure. Enfin, après séparation des corps gras, on peut (à échelle modeste) imaginer la constitution d'un milieu de **culture pour la jacinthe d'eau** (*Eichhornia crassipes*), plante dont la teneur des feuilles en protéines est remarquable (31 p. 100) et présente une des plus fortes productivités du règne végétal avec 150 t/ha/an de matière verte.

## VI. — LE PALMIER À HUILE = CULTURE ÉNERGÉTIQUE ?

La hausse des produits énergétiques d'origine fossile et l'incertitude des approvisionnements remettent à l'ordre du jour l'emploi d'autres formes d'énergie, en particulier celles dites renouvelables qui résultent presque essentiellement de la photosynthèse.

Les plantes généralement retenues au titre des cultures énergétiques sont caractérisées par leur teneur en hydrates de carbone transformables en alcool, ou par leur teneur en huile méthanolysable. Parmi elles, **ce sont les cultures oléagineuses qui présentent le plus d'avantages, et notamment le palmier à huile** puisque, moyennant une transformation, on obtient environ 85 p. 100 de carburant diesel en partant de l'huile brute, par opposition aux cultures non oléagineuses dont le rendement en combustible/ha est plus faible, et le bilan énergétique voisin ou même moins favorable, par exemple :

- Canne à sucre : 4 t de sucre par ha,  
2,8 t d'alcool,  
Rendement : 70 p. 100,  
Degré d'efficacité : 5,0,
- Manioc :  
4,5 t d'amidon,  
2,5 t d'alcool,  
Rendement : 55 p. 100,  
Degré d'efficacité : 2,0.

L'huile de palme présente donc des caractéristiques intéressantes pour le remplacement de carburant lourd. Si, selon certaines données chiffrées, son rendement est un peu moins efficace que celui des hydrocarbures puisqu'il faudrait 255 g d'huile méthanolysée par cheval/heure, contre 210 pour le gas-oil, ce défaut pourrait être amélioré par l'augmentation des taux de compression des moteurs. Son emploi comme carburant lourd est techniquement parfaitement possible, mais **son coût, en tant que combustible, peut donner matière à réflexion.**

Le prix de revient, sortie usine, de l'huile de palme varie dans de sensibles proportions : de 150 \$ US en Indonésie à 350-380 \$ US en Amérique latine par tonne métrique, amortissement compris. L'huile de palme ne pourrait donc actuellement être compétitive du gas-oil que dans un pays appliquant des taxes très élevées sur les carburants, disposant de surcroît de ressources alimentaires suffisantes ou de surfaces importantes à mettre en valeur (Brésil, par exemple).

Cette situation se modifiant naturellement au fur et à mesure de l'augmentation du prix du carburant fossile, son utilisation à cette fin n'est pas utopique. Mais il faut faire à cet égard un certain nombre de réserves, en raison du fait que la population sous-alimentée du Tiers-Monde croît plus vite que les progrès de l'agriculture ne le permettent, et que le passage d'un produit alimentaire de base à l'énergie aurait pour conséquence d'entraîner un déséquilibre grave, notamment en matière de produits oléagineux, largement déficitaires. Il serait ainsi dommage de détourner de sa vocation première la culture oléagineuse la plus productive du monde à l'unité de surface.

Par ailleurs, il convient de remarquer que l'huile de palme ne peut devenir réellement un concurrent des huiles de pétrole car, pour empêcher que cela survienne, les pays de l'OPEP auraient la ressource de diminuer leur prix.

Par contre, on peut imaginer que ces produits soient valorisés (par exemple la partie concrète de l'huile de palme) en produisant des protéines par bioconversion à l'aide des ressources énergétiques existant en excédent à partir des sous-produits végétaux des plantations (raffes, feuilles), ou que des recherches soient entreprises pour utiliser certains palmiers sauvages producteurs de corps gras (Babassu).

## CONCLUSION

L'interprétation d'un bilan énergétique permet de mettre en évidence les principaux paramètres et leur rôle respectif sur le degré d'efficacité de la gestion technique et économique d'une plantation. Il est intéressant de noter, par exemple, que les postes énergétiques intéressant les travaux agricoles (tracteurs), les transports (distances à parcourir), les véhicules légers jouent un rôle essentiel, supérieur parfois au poste fertilisation et, en tout état de

cause, interviennent plus sensiblement que le poste usinage qui évolue proportionnellement à la production.

Cette étude a montré, en outre, que bien des points restent à étudier comme, par exemple, les divers pouvoirs calorifiques des matières sèches, de manière à mieux préciser les disponibilités énergétiques indispensables à l'extraction industrielle de l'huile — sûrement autosatisfaits par les coques et/ou les fibres.

Certaines voies de recherches paraissent enfin très ouvertes, en ce qui concerne notamment :

### • la technologie :

- récupération de l'énergie de la combustion des rafles,
- séparation des condensats,
- emploi d'effluents (fertilisation, biogaz, jacinthe) ;

### • l'agronomie, avec l'étude du problème de l'utilisation des feuilles en cours de culture :

- est-il intéressant de laisser les feuilles sur le sol ou non ?
- peuvent-elles être pyrolysées et/ou transformées en méthanol de façon rentable ?
- ne serait-il pas intéressant, en cas de programme d'abattage annuel important, de broyer les stipes en copeaux en vue, soit de les presser en briquettes pour stockage et utilisation ultérieure, soit de les réserver à la fermentation lorsque les problèmes de transformation de la cellulose en sucre seront réglés ?

### • la chimie des corps gras, avec des formules de valorisation (protéines), en cours de recherches, qui apporteront encore de sensibles améliorations ;

### • et la transformation directe en carburant lourd, réalisable, mais peu souhaitable.

L'examen du bilan énergétique d'une plantation type de palmiers à huile montre enfin qu'avec un degré d'efficacité de l'ordre de 3,7, cette culture se place parmi les plus intéressantes, et qu'il n'est pas utopique d'envisager un emploi total de son potentiel énergétique en vue d'atteindre (au stade de la matière première, bien entendu) un degré « d'efficacité » total de 8,0, c'est-à-dire un remarquable équivalent énergétique disponible de 12,5 TEP/ha/an.

## BIBLIOGRAPHIE

### Périodiques consultés

- [1] MENSIER P. H. (1945). — La production de carburants à partir des oléagineux. *La France Énergétique*, N° 9-10, p. 277-279.
- [2] LOURY M. (1945). — Un nouveau carburant possible, l'huile de palme méthanolysée. *La France Énergétique*, N° 11-12, p. 332-334.
- [3] MENSIER P. H. (1952). — L'emploi des huiles végétales comme combustible dans les moteurs. *Oléagineux*, 7, N° 1, p. 9-13 ; N° 2, p. 69-74.
- [4] GASCON J. P. et de BERCHOUX C. (1964). — Caractéristiques de la production d'*Elaeis guineensis* (Jacq.) de diverses origines et de leurs croisements. *Oléagineux*, 19, N° 2, p. 75-84.
- [5] BERCHOUX C. de et GASCON J. P. (1965). — Caractéristiques végétales de cinq descendances d'*Elaeis guineensis*. *Oléagineux*, 20, N° 1, p. 1-7.
- [6] NOIRET J. M. et GASCON J. P. (1967). — Contribution à l'étude de la hauteur et de la croissance du stipe d'*Elaeis guineensis*. *Oléagineux*, 22, N° 11, p. 661-664.
- [7] URIBE A. et BERNAL G. (1973). — Incinérateur de rafles de régimes de palmier à huile. Utilisation des cendres. *Oléagineux*, 28, N° 3, p. 147-149.
- [8] GOMES DA SILVA J. et SERRA G. E. (1978). — Energy balance for ethyl alcohol production from crops. *Sciences*, 201, p. 903-906.
- [9] ALVIM P. de T. et ALVIM R. (1979). — Sources d'énergie d'origine végétale : hydrates de carbone, huiles et hydrocarbures. *Oléagineux*, 34, N° 10, p. 465-472.
- [10] CONSEIL SUPÉRIEUR de la MÉCANISATION et de la MOTORSATION de l'AGRICULTURE (1980). — *Inventaire des problèmes énergétiques en agriculture*. Rapport janvier 1980 du Groupe de Travail.
- [11] PECHINE M. (1980). — Autonomie énergétique d'un complexe agricole du Sud-Est à partir de la canne de Provence. *Note CNEEMA*, Nîmes, Fr., février.
- [12] HIRSCH J. P. (1980). — Relations entre l'appareil végétatif et la production chez le palmier à huile en Côte-d'Ivoire (bilingue fr.-angl.) *Oléagineux*, 35, N° 5, p. 233-239.
- [13] BANCZON Julian A. (1980). — The coconut as a renewable energy source. *Philipp. J. Coconut Stud.*, 5, N° 1, p. 31-36.
- [14] COTRAT F. (1980). — Énergies renouvelables. Valorisation de la biomasse par les filières thermo-chimiques. Combustion, carbonisation et gazéification. *Mach. agric. trop.*, N° 70, p. 61-72.
- [15] CAUDERON A. (1980). — Crise énergétique et crise alimentaire. *Note INRA*, Paris, Fr., décembre 1980.
- [16] *Cahiers du CENECA*. (Communications du Colloque International CENECA « Agriculture et Énergie », du 27 au 29 février 1980 à Paris).

### Ouvrages consultés

- [17] MENSIER P. H. (1946). — *Lexique des huiles végétales*. SETCO, Paris, Fr., 167 p.
- [18] HARTLEY C. W. S. (1967). — *The Oil Palm*. Longmans, Green and Co., London, G. B., 706 p.
- [19] CORLEY R. H. V., HARDON J. J., WOOD B. J., ed., (1976). — *Oil Palm Research*. Elsevier Sci. Publish. Cy, Amsterdam, Netherl., 532 p.
- [20] SURRE C., ZILLER R. (1963). — *Le Palmier à huile*. G. P. Maisonneuve et Larose. Paris, Fr., 242 p.



## SUMMARY

**Energy balance of oil palm growing. An approach.**G. MARTIN, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 6, p. 273-290.

Because the average calorific value of palm and palm kernel oils is close to that of Diesel oil, the industrial plantations can produce a significant energy equivalent of about 4.7 TPE/ha. In relation to this potential an attempt has been made by an appraisal of its biomass and of the energy spent to produce it to estimate the degree of efficiency of this crop and to determine the influence of the main parameters on its energy management. *A priori*, with a degree of efficiency of 3.7, the balance is satisfactory. Many elements, not well known at present, remain to be studied if the oil palm's energy potential is to be better known and used.

## RESUMEN

**Enfoque sobre el balance energético del cultivo de la palma africana.**G. MARTIN, *Oléagineux*, 1981, 36, N° 6, p. 273-290.

Por el poder calorífico medio de los aceites de palma y palmiste parecido al del gasoil, las plantaciones industriales pueden producir un importante equivalente energético de poco más o menos 4,7 TEP/ha. Con relación a esta potencialidad, se procuró evaluar el « grado de eficiencia » de este cultivo, estableciendo la influencia de los principales parámetros en su gestión energética, mediante el examen estimatorio de su biomasa y de la energía gastada para producirla. *A priori* el balance es satisfactorio, con un grado de eficiencia de 3,7. Sin embargo quedan por estudiar muchos elementos, aún mal conocidos, si se quiere conocer mejor y utilizar las disponibilidades energéticas de la palma africana.

## Energy balance of oil palm growing An approach

G. MARTIN (1)

## INTRODUCTION

The financial return on a crop is generally characterised by a coefficient based on a simple ratio between receipts and the expenditure incurred to obtain them.

Examination of this coefficient will sometimes indicate a means of improving the economic efficiency of an exploitation, by acting on the component(s) of the numerator or denominator.

The 1974 energy crisis placed another form of analysis known as the energy balance on the agenda, the aim being to compare the potential energy produced by a plant to the energy supplied. This relation is thus similar, and it is interesting to observe that this method of evaluation, developed with an eye to economy in the face of the uncertainties of fossil fuel supplies and to the end of studying the available biomass, proved complementary to the above-mentioned economic analysis. In effect, it can define the biological potential of a crop under given agronomic and technical conditions, or on the contrary the agricultural efficiency of the solution adopted (W. Hutter, I.N.R.A.).

Comparing the two overall energy balances can also enable either an appraisal of the respective efficiencies of the situations considered or the revision of the energy policy of the crop. Lastly, by examination of partial balances it allows an evaluation of energy efficiency of a specific technique, eg., effect of energy cost of fertilizers on yield, effect of phytosanitary treatments on yield etc.

## I. — COMPONENTS OF THE BALANCE

Agriculture supplies food or consumable industrial products and non-consumable products (green matter, wood, waste) having energy values measurable by the same unit. To obtain them, a task must be carried out which calls on two types of energy: a direct one to realise it (electricity, fuel, combustibles) and an indirect one (tools, fertilizers, various products) which takes account during use of the energy required for their manufacture.

## a) Products.

The oil palm produces two oils (palm and kernel), empty bunches from the separation of fruit from the inflorescence, fibre from the extraction of pulp oil and shells after the nuts are cracked to obtain the kernel. Leaves are also produced, and each year the stems lengthen by 40-60 cm.

The shells and fibre from milling are very quickly used as an energy source to produce the steam required to process the fruit.

But the various operations do not necessarily use them up, the more so as specially designed boilers must be used. The empty bunches, too, are not always burned to obtain their mineral-rich ashes (potassium and magnesium). The remaining green matter (leaves) is left on the ground so it can rot slowly, restoring organic matter and mineral elements.

## b) Means consumed.

A perennial plant, the oil palm, when cultivated intensively produces for about 20 years from the age of 2 1/2 to 3 years. It calls for manpower, mechanical means, products from the time of land preparation and throughout its development, for maintenance, manuring, phytosanitary treatments and harvesting. As its yield must be processed within 24 hours of cutting, exploitation of an oil palm grove involves building a mill on the plantation itself, consequently the use of a certain quantity of energy, and the discharge of effluent at the end of the manufacturing process.

## II. — ELEMENTS FOR CALCULATION

## a) Agricultural products.

Wood at 80 p. 100 humidity has a calorific value of 1 000-2 000 kcal/kg matter. Its calorific value is about 4 000 kcal/kg at 10 p. 100 i.e. when rid of most of its constituent humidity. Precise knowledge of the humidity rate being an essential factor. It was decided for the pursuit of the study and to simplify matters to calculate all biomass data on an average calorific value of 4 000 kcal/kg corresponding to a datum approximately common to plant products containing about 10 p. 100 humidity (2.5 kg dry matter equivalent to about 1 kg fuel oil). A slightly higher value will be adopted for some products richer in carbon like palm nut shells, say, for example, 5 500 kcal/kg at 10 p. 100 humidity.

To evaluate the oil combustion heat, we used Bentram's equation:

$$W \text{ (expressed in kcal/kg)} = 11\,380 - IV - 9.15 \times SN$$

$$(IV = \text{iodine value and } SN = \text{saponification number})$$

which thus gives 9 500 kcal/kg for palm oil and 9 073 kcal for palm kernel oil.

## b) Matter consumed.

Direct expenditures for electricity, fuel and combustibles are estimated in conformity with data taken from the relevant literature. For indirect expenses concerning tools, a simple formula has been adopted using average energy required for manufacturing them, the

(1) Engineer IAN, Assistant Director, I.R.H.O. Oil Palm Department. 11, Square Pétrarque, 75016 Paris (France).



total hours of use before replacement and the annual number of hours used. For example :

$$\frac{(x \text{ kcal/kg} \times \text{weight material in kgs}) \times \text{number hours/year}}{\text{Total number usable hours}}$$

#### c) Analysis of the balance.

Before analysing the efficiency degree of the balance, it should be remembered that the **numerator** of the ratio :

$$I_e = \frac{\text{energy produced}}{\text{energy consumed}}$$

evolves according to the **plant's productivity** and the **degree of use of the matter produced**. Some oil palm exploitations use the fibres and shells only partially or not at all, so these values cannot be integrated to the upper part of the equation (or only proportionately). Consequently, the more use is made of matter produced in relation to energy consumed, the better the balance. In the opposite case, the reduction of the denominator by energy savings enables the same results to be obtained.

If one wished to be very precise, the various losses (oil, waste) should be entered to the debit of the balance. On the other hand, the energy value of the kernel cakes or quantities of mineral elements restored by decomposition of green matter left on the ground should be put on the credit side. In reality, it is not always useful to go through such detailed analysis. It is enough to dispose of the elements required to bring out the most important parameters and essential problems for which corrective measures can be taken.

#### d) The basic elements.

It was agreed to express energy value in kilojoules (kJ) :

$$\begin{aligned} 1 \text{ kilocalorie} &= 4\,185 \text{ kilojoules,} \\ 1 \text{ TPE (Ton Petrol equivalent)} &= 10\,000 \text{ Thermal units,} \\ &= 10 \times 10^6 \text{ kcal,} \\ &= 41.85 \times 10^6 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

- 1 kg palm oil = 39 758 kJ ;
- 1 kg palm kernel oil = 37 971 kJ ;
- 1 l petrol = 46 880 kJ ;
- 1 l diesel oil = 41 850 kJ ;
- 1 kg plant/matter at 10 p. 100 humidity = 16 700 kJ (wood, leaflets, leaves, empty bunches) ;
- 1 kg shells (high carbon content) at 10 p. 100 humidity = 23 000 kJ ;
- 1 kg coal = 33 480 kJ ;
- Labour = 5 442 kJ/workday ;
- Manufacturing machines, equipment, tractors = 71 982 kJ/kg/weight ;
- Construction work — civil engineering = 100 464 kJ/m<sup>2</sup> area ;
- For electricity generation = 10 000 kJ/kiloWatt hour ;
- Fertilizer
  - = 83 700 kJ/kg element N delivered plantation,
  - = 8 370 kJ/kg K<sub>2</sub>O delivered plantation,
  - = 12 555 kJ/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> delivered plantation,
  - = 20 225 kJ/kg MgO delivered plantation,
  - = 41 850 kJ/kg B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> delivered plantation ;
- Phytosanitary products (commercial products) = 100 440 kJ/kg CP ;
- Irrigation = 3,6 × 10<sup>6</sup> kJ/ha/year ;

- Transport : using converted English norms, energy expended is estimated at 1 674 kJ/kilometric ton (# 40 l diesel fuel/100 km for a 10 ton truck), transport of products, fuel, supplies, fertilizers, material (inside or outside the plantation) is estimated to be equal to double the oil produced, and the average distance, arbitrarily fixed, to that of the nearest urban centre ;
- Use of plane (as an indication) 26 156 kJ/kilometric ton.

### III. — ENERGY BALANCE OF AN OIL PALM PLANTATION

For practical purposes, we decided to choose a unit of **5 000 ha** planted with good quality planting material, located either in a region with good soils and an annual water deficit of 200 mm, or in one with average soils with a low water deficit, i.e. with a potential in the order of **22 tons bunches/ha**.

Table I summarises the main characteristics, and table II gives the corresponding material elements.

In table III, the redeemable energy value of which the annual portion must enter into the balance has been estimated.

Table IV and figure 1 concern the products, and table V the products consumed.

### IV. — DISCUSSION (Table IV)

Because the average energy value of palm and kernel oils is close to that of Diesel oil, industrial plantations can produce a considerable energy equivalent, about 4.7 TPE/ha. But it is interesting to note that the sum of calorific values of the shells and fibres is almost equivalent to the quantity of energy required for the extraction unit (1.0 TPE for 1.2 TPE). It is thus sufficient to install mixed boilers or ones adapted to feeding with shell and fibre to achieve substantial savings (financial and energy) compared to fuel boilers.

However, since the calorific value of these dry matters are not precisely known, it may be that the energy obtained from them exceeds the estimate in the first balance.

On the level of **matter consumed** (Table V), it is seen that direct expenditures are almost the only ones that can be cut back, but also that the **fertilizers consumed**, if the formula does not include nitrogenous fertilizers, are **no more costly** from an energy standpoint than tractor fuel or household coal. Even with nitrogen the fertilizer total is equivalent to the total fuel consumed. Given the importance that should be attached to manuring in maintaining production, it does not seem rational to seek savings in this area.

If only the products used by the exploitation are included in the numerator of the energy balance, various **efficiency degrees** are obtained. For example, one can imagine 3 hypotheses for use :

1. Palm and palm kernel oils plus bunch ash only  $\left\{ \frac{196.3 \times 10^6 \text{ kJ}}{65.31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3.0 \text{ (-)} \right.$
2. Palm and palm kernel oils, bunch ash plus all shells and fibres.  $\left\{ \frac{238.5 \times 10^6 \text{ kJ}}{65.31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3.7 \text{ (+ 23 \%)} \right.$
3. Palm and palm kernel oils, ash, shells and fibres plus energy from empty bunches and leaves (in a form to be determined)  $\left\{ \frac{433.7 \times 10^6 \text{ kJ}}{65.31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 6.64 \text{ (+ 121 \%)} \right.$

TABLE I. — Basic data for typical plantation. Quantity of green matter and products

Area in bearing : 5 000 ha	
Total bunch yield 110 000 t bunches = 22 t bunches/ha	38 p. 100/fresh empty bunches = 8.40 t at 75 p. 100 humidity. 1 p. 100/bunch tonnage of bunch ash = 0.22 t.
Extraction rate	— 21 p. 100 palm oil = 4 620 kg/ha, — 1.5 p. 100 palm kernel oil = 330 kg/ha, — Palm kernel cake = 300 kg/ha approximately (for the record),
Shells = 5 p. 100 of bunch tonnage = 1 100 kg/ha — humidity 22 p. 100,	
Fibres = 9 p. 100 of bunch tonnage = 2 000 kg/ha — humidity 45 p. 100.	
Weight 1 adult leaf = 10 kg including 33 p. 100 leaflets and 67 p. 100 leaf stalks and rachis.	
Number leaves produced yearly = 25.	
Number trees/ha in bearing = 135.	
Average stem growth = 60 cm/year.	
Green weight of stem = 2.400 kg/cm at 75 p. 100 humidity.	

TABLE II. — Average elements for calculation. Material

<b>Material means for clearing, preparation, roads, upkeep, transport, staffing, etc.</b>		
200 hp tractors	— amortization 8 000 hours	20 tons/tractor
150 hp tractors	— amortization 8 000 hours	14 tons/tractor
Public works equipment 150 hp	— amortization 8 000 hours	15 tons/equipment
80 hp tractors	— amortization 6 000 hours	4 tons/tractor
8-ton trucks	— amortization 100 000 km	6 tons/truck
Liaison and staff vehicles	— amortization 50 000 km	1,5 tons/vehicle
Agricultural equipment : for the record.		
<b>Buildings</b>		
Management, lower management and workers housing		50 000 m <sup>2</sup> (= 10 m <sup>2</sup> /ha),
Services (workshop, garage, social infrastructure, sheds)		5 000 m <sup>2</sup> (= 1 m <sup>2</sup> /ha).
<b>Oil Mill</b>		
40 tons bunches/hour of capacity	— 3 000 hours operation/year,	
Civil engineering area/platform	— 20 000 m <sup>2</sup> (4 m <sup>2</sup> /ha),	
Total weight — equipment	— 1 700 tons (0.34 t/ha).	
<b>Standard consumption</b>		
Diesel tractor : 0.121 diesel oil/hp/hour		
Petrol-run vehicle : 0.191 petrol/hp/hour		
Average use : 1 500 hours/year		
Oil mill : 500 kg steam/ton bunches. To produce steam and electricity required it will take 680 kcal/kg steam with overall yield of 65 p. 100, i.e. 4 185 kJ/kg steam,		
Additional electricity generation for housing and services approximately 1 100-Watt bulb for 5 hours/day i.e. 1 100 persons and 365 days = 2 million kWh (400 kWh/ha),		
Domestic heating coal : approximately 1 kg/day/labourer.		

TABLE III. — Energy values invested and redeemable

Creation (cost redeemable over 20 years) from n-1 to n-2 (3-4 years)		× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Labour : 152 days/ha		8.27
200 h.p. tractor 8 hours — consumption/ha 192 l (8,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus energy value × 8 hours (1)		9.47
150 h.p. tractor 10 hours — consumption/ha 180 l (7,5 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus energy value × 10 hours		8.75
80 h.p. tractor 15 hours — consumption/ha 145 l (6,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) plus energy value × 15 hours		6.73
Light vehicles — Miscellaneous transport — 20 000 km/year/vehicle + 400 t/km		0.68
Fertilizers : Nitrogenous 285 kg = 57 kg N /ha		4.77
Potassic 230 kg = 138 kg K <sub>2</sub> O /ha		1.16
Phosphated 120 kg = 48 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha		0.60
Magnesian 195 kg = 59 kg MgO /ha		1.24
Borated 45 kg = 20 kg B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ha		0.84
Herbicide : 5 kg		0.50
Insecticide : 25 kg		2.51
Buildings : 11 m <sup>2</sup> /ha		1.11
Oil Mill, building + equipment 402 000 + 25 000		0.43
Total		47.06
Total redeemable/ha/year		3.38

(1) see chapter II, para. b).

Most industrial exploitations lie between hypotheses 1 and 2 (very often in situation 2), so the energy balance of palm growing is very satisfactory.

In effect, it is well-placed in relation to certain efficiency values quoted by Carl W. Hall, dean of the Washington State University Agricultural Engineering College (CENCA Conference, Paris, February 27-29, 1980) :

Rotation cropping	65
Rice - beans	41
Maize (hand harvested)	30
Sugar cane	5.0
Oil palm	3.7
Cereals	2.5
Cassava	2.0
Potatoes	1.6
Cattle	0.3
Poultry farming	0.1

The largest direct expense item remains milling (70 p. 100 of costs) but it is proportional to production (the energy for which can be supplied by shells and fibres from processing). The indirect

expenses, by their very nature, are not easy to cut back, so that the degree of efficiency appears to be mainly dependent on products in the balance's numerator and the only direct operating expenses in the denominator.

It is interesting to observe for example that in hypothesis 2 (oil + ash + shells and fibres) a production drop of 15 p. 100 in bunches, (a priori, a large one) changes the efficiency degree by only - 3 p. 100 because of the proportion of energy expenditure entering into their processing, whereas an extraction yield 2 points lower than the 21 p. 100 rate plays a large role (- 8 p. 100).

If, in the same hypotheses 2, we imagine the opposite, or « comfort » situation, leading to doubling of expenditures for electricity, domestic fuel, and fuel consumption for tractors and vehicles, the ratio drops to the degree 3.06, i.e. an efficiency reduction of - 17 p. 100.

Interpretation of an energy balance is thus complementary to that of an economic balance. It shows that certain savings are not really desirable (fertilizer for example) whereas others, without marked effect at first sight, are (direct expenditures - fuel), and that one must strive for maximum use of energy expended for better financial profit (extraction rate).

TABLE IV. — Energy balance. Products (Outputs) per ha plantation (see Fig. 1)

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Palm oil = 4 620 kg .....	183.0
Palm kernel oil = 330 kg .....	12.5
Empty bunches 8 360 kg/ha i.e. 2 322 kg matter at 10 p. 100 humidity at 16 700 kJ/kg (1) .....	38.8
220 kg/ash equivalent to 66 kg K <sub>2</sub> O + 11 kg MgO consumed .....	0.8
Shells 1 100 kg/ha at 10 p. 100 humidity = 950 kg at 23 000 kJ/kg .....	21.8
Fibres 2 000 kg/ha at 10 p. 100 humidity = 1 220 kg at 16 700 kJ/kg .....	20.4
<b>Green part (75 p. 100 humidity)</b>	
Leaves : 25 × 10 kg × 135 = 33 750 kg (including 11,100 leaflets)	
Value of leaf stalks and rachis = 6 280 kg at 10 p. 100 humidity .....	104.9
Value dry leaflets = 3 083 kg at 10 p. 100 humidity .....	51.5
Stem : 60 cm × 2.4 kg × 135 = 19.4 t × 25 p. 100 = 5 400 kg at 10 p. 100 humidity .....	(90.2)
Note that the leaflets contain mineral elements in the following proportions :	
— 2.5 p. 100 N # 69 kg/ha	
— 0.150 p. 100 P # 4.2 kg (9.6 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/ha	
— 1.0 p. 100 K # 27.7 kg (33.4 K <sub>2</sub> O)/ha	
representing an energy equivalent in fertilizers of — 5.8 × 10 <sup>6</sup> for N/ha	
— 0.12 × 10 <sup>6</sup> for P/ha	
— 0.28 × 10 <sup>6</sup> for K/ha	
Total ..... 6.2 × 10 <sup>6</sup> /ha	
also equivalent to 345 kg commercial ammonium sulphate	
24 kg commercial triple super phosphate	
46 kg commercial potassium chloride	
415 kg/ha	

(1) It is assumed that the humidity of the biomass is brought down to about 10 p. 100.

## V. — IMPROVEMENTS TO BE MADE AND POSSIBLE RESEARCH OPTIONS

At present, the empty bunches are burned to obtain ashes for fertilizing the plantations, but the calories produced by this combustion are unused, and this subject should be dealt with.

Next comes the question of green matter. The leaves which account for about 156 million kJ (i.e. 3.7 TPE/ha), neglected in the efficiency calculation, nonetheless represent a potential to be considered carefully.

### a) The leaf stalks.

Decomposing very little, they represent by themselves 2.5 TPE/ha in the chosen example. In the hypotheses that 100 kg dry matter could give 10 litres alcohol (methanol), 5 600 kg totally dry matter/year would correspond to 560 litres. Since about 10 tractor hours/ha/year are used at the rate of 7-10 litres/hour for agricultural work and handling (i.e. only 100 litres ha/year) the plantation would have a theoretical excess of about 450 litres/ha/year.

TABLE V. — Products consumed (Inputs) per ha plantation

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
<b>Direct</b>	
Electricity : $\frac{2 \text{ million kWh}}{5 000 \text{ ha}} = 400 \text{ kWh} \times 10 000 \text{ kJ}$ .....	4.0
Oil Mill (see Table II) .....	46.0
<b>Exploitation</b>	
150 h.p. heavy tractor : 2 hours/ha — 36 l/ha (1.5 × 10 <sup>6</sup> kJ) .....	1.50
80 h.p. light tractor : 6 hours/ha — 58 l/ha .....	2.43
Miscellaneous transport : 800 t/km × 1 674 kJ/t/km .....	1.34
Domestic coal : 1 kg/d/labourer × 1 100 labourers × 365 d = 400 t .....	2.68
Light vehicles : 20 000 km/year × 30 vehicles/5 000 ha .....	0.56
<b>Indirect</b>	
150 h.p. heavy tractor — energy value in weight per hour × 2 hours .....	0.25
80 h.p. light tractor — energy value in weight per hour × 6 hours .....	0.29
Manpower 58 days .....	0.32
Fertilizers — N Sulphate (1) : 0	
— KCl : 225 kg = 135 kg/K <sub>2</sub> O = 1.13 × 10 <sup>6</sup>	
— Mg Sulph. : 150 kg = 45 kg/MgO = 0.94 × 10 <sup>6</sup>	
— Boron : 15 kg = 6.5 kg/B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 0.27 × 10 <sup>6</sup> .....	2.34
Valorized ash .....	0.80
Phytosanitary products — 7 kg/ha .....	0.70
Amortizable portion .....	2.10
<b>Grand total</b> .....	<b>65.31</b>

(1) In the example chosen, there is no point at adult age in using nitrogenous fertilizers, which have a high energy value. Where plantations use, for example, 143 kg urea/ha (i.e. about 57 kg N) the direct costs must be raised by about 4.8 × 10<sup>6</sup> kJ which brings the grand total up to 70.1 × 10<sup>6</sup> kJ/ha.

### b) The leaflets.

Naturally decomposable, they are assumed to restore the equivalent of 415 kg fertilizer/ha (Table IV).

If we take it that the price of one ton of petrol equivalent is about \$ US 250 a choice can be made between the value of the fertilizers that would have to be purchased to compensate the losses if the leaves were removed from the plantation, and the value of the energy equivalent of the leaflets' dry matter i.e. in the final analysis to choose between buying 415 kg of N, P and K fertilizers at an average cost of \$ US 250 per ton (i.e. \$ US 112) and using the leaflets for other purposes to produce 1.20 TPE (about \$ US 300).

To make this choice, one would have to know whether the application of mineral elements to the soil by the decomposing leaflets is real, if it is measurable, and if the cost of transforming these leaflets into alcohol would not be greater than the difference between the values of fertilizers to be purchased, and the value of the energy obtained from the leaflets.

### c) Recuperation of green matter before replanting.

When the plantation is renewed (after 20 years' exploitation), green matter to be eliminated before replanting is about :

— 120 stems of 2 500 kg green	
= 300 000 × 25 p. 100 .....	75 000 kg dry
— 120 × 20 leaves of 10 kg green	
= 24 000 × 25 p. 100 .....	6 000 kg dry
	81 000 kg dry.

These 80 tons (reduced to combustible shavings) would represent  $1.34 \times 10^9$  kJ, the equivalent of 32 TPE/ha or, transformed into alcohol, 8 000 litres of methanol.

### d) Oil mill effluents.

Effluents account for 60 p. 100 of the weight of processed bunches (45 p. 100 from clarification — 10 p. 100 from steriliser condensates and the 5 p. 100 from the hydrocyclone). After separation of the water from the condensates and hydrocyclone, the 45 p. 100 remaining (see Table I) would contain :

- 4 to 0.8 kg/m<sup>3</sup> fats,
- 0.5 to 0.8 kg/m<sup>3</sup> nitrogen,
- 1.3 to 2 kg/m<sup>3</sup> potassium.

These are quite significant quantities on the scale of a plantation, which could thus dispose of about 10 m<sup>3</sup>/ha/year (or 15-20 kg potassium) as fertilizer if concentration of the solid contents is possible (perhaps dehydration by using the heat from burning bunch waste in the incinerator) to make spreading easier.

The production of biogas by anaerobic fermentation could also be contemplated. For the reader's information, in Malaysia, near a mill with a 60 t bunches/hour capacity, digesters for treating effluents anaerobically produce 283 m<sup>3</sup> (10 000 cubic feet) of gas per hour. Finally, after separating the fats, it is possible to imagine the constitution of an environment on a modest scale for water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a plant whose leaf protein content (31 p. 100) is remarkable and which is one of the most productive in the plant kingdom, with 150 tons/ha/year of green matter.

## VI. — THE OIL PALM = AN ENERGY CROP ?

The rise in fossil fuel costs and the uncertainty of supplies have brought to the fore once again the use of other forms of energy, particularly those called « renewable », resulting almost entirely from photosynthesis.

The plants generally chosen as energy crops, are characterised by their carbohydrate content, transformable into alcohol, or by their content in methanolysable oil. Among them, oil crops especially oil palm, are the most advantageous, since, after transformation, about 85 p. 100 Diesel oil is obtained from crude oil, compared to non-oil crops whose yield in fuel/ha is lower and whose energy balance is similar or even less favourable, e.g.

— Sugar cane : 4 tons sugar/ha,	
2.8 tons alcohol,	
Yield : 70 p. 100,	
Efficiency degree : 5.0.	

— Cassava :	4.5 tons starch,
	2.5 tons alcohol,
	Yield : 55 p. 100,
	Efficiency degree : 2.0.

Thus, palm oil has interesting possibilities as a substitute for heavy fuel. Whilst, according to some figures, its yield is a bit less efficient than that of hydrocarbons, since 255 g methanolysed oil are required per horse/hour against 210 for Diesel oil, this defect could be reduced by increasing the motor compression rate. Its use as a heavy fuel is perfectly possible technically ; but its cost, as a fuel, may give food for thought.

The cost price ex-mill of palm oil varies markedly : from \$ US 150 per metric ton including depreciation in Indonesia to \$ US 350-380 in Latin America. So that at present, palm oil would only be competitive with Diesel oil in countries with very high fuel taxes, and having either sufficient food resources or very large areas to be exploited (eg. Brazil).

Naturally, this situation changes as the price of fossil fuel increases, and the idea of its use for this purpose is not utopian. But, in this respect, some reserves must be expressed, since the undernourished third world population is growing faster than agricultural advances permit, and the passage from a basic food product to energy would lead to grave imbalances, notably in oil products which are already in very short supply. It would therefore be a pity to turn the most productive oil crop in the world per unit of area away from its primary calling.

Furthermore, it should be noted that palm oil cannot really compete with petrol oils, as the OPEC countries could always reduce their prices, should this happen.

On the other hand, the valorization of these products (for example, the concrete fraction of palm oil) can be imagined, producing proteins by bioconversion of the excess energy resources in the form of plant by-products on the plantations (empty bunches, leaves). Research could also be undertaken to use certain wild oil-yielding palms (Babassu).

## CONCLUSION

Interpretation of an energy balance makes clear the main parameters and their respective roles in the degree of efficiency of technical and economic management of a plantation. It is interesting to note, for example, that in the energy items which concern agricultural work (tractors) and transport (distances to be covered) light vehicles play an essential part sometimes greater than that of fertilizers, and that in any case they have a more noticeable incidence than milling costs, which are proportional to production.

This study also showed that many points remain to be examined, such as the calorific values of various dry matter, the better to define the available energy indispensable to industrial oil extraction — which surely satisfies its own needs by shells and/or fibres.

Finally, certain research options seem wide open, notably :

#### • technology :

- recovery of energy from bunch waste combustion,
- separation of condensates,
- use of effluents (fertilizers, biogas, hyacinth).

#### • agronomy with the study of the use of leaves during growing :

- is it a good idea to leave the leaves on the ground or not ?
- can they be pyrolysed and/or transformed into methanol profitably ?
- would it not be advantageous, with large annual felling programmes to crush the stems into shavings either with a view to pressing them into briquettes for storage and later use, or keeping them for fermentation once the problems of transforming cellulose into sugar are solved ?

#### • fats chemistry with forms of valorization (proteins) currently being researched, which would lead to still further improvements,

#### • and direct transformation into heavy fuel, which is possible but not really desirable.

Finally, examination of the energy balance of a typical oil palm plantation shows that with a degree of efficiency of about 3.7, this crop is among the most valuable, and it is not utopian to imagine total use of its energy potential with the aim of attaining (in the raw material stage, of course), a total efficiency degree of 8.0 which is a remarkable available energy equivalent of 12.5 TPE/ha/year.



# Enfoque sobre el balance energético del cultivo de la palma africana

G. MARTIN (1)

## INTRODUCCIÓN

Se suele caracterizar el « rendimiento financiero » de un cultivo por un índice establecido en la base de una relación sencilla entre los ingresos y los gastos realizados para conseguirlos.

El examen de este índice basta a veces para mejorar la « eficacia económica » de la explotación actuando sobre el o los componentes del numerador o del denominador.

Con la crisis energética de 1974 se ha vuelto de actualidad otra forma de análisis llamada « Balance Energético », a fin de comparar la energía potencial que la planta produce con la energía proporcionada. O sea que esta relación es similar, y es interesante observar que este medio de evaluación que se puso a punto dentro de una preocupación de economía ante la incertidumbre que representa el aprovisionamiento de energía fósil, y a fin de estudiar la « biomasa » disponible, resultó complementario del análisis económico antes citado. En efecto, puede definir el « potencial biológico » de un cultivo en unas condiciones agronómicas y técnicas determinadas, o por lo contrario puede medir la « eficacia agrícola » de las soluciones adoptadas (W. Hutter, I.N.R.A.).

La comparación de dos balances energéticos de conjunto también puede ayudar a evaluar la eficiencia respectiva de las situaciones estudiadas o la revisión de la política energética del cultivo. Por último puede permitir que a través del examen de balances parciales sea estimada la eficiencia energética de una técnica precisa, como por ejemplo : efecto del costo energético de la fertilización sobre la producción, efecto de los tratamientos fitosanitarios en la producción, etc.

## I. — COMPONENTES DEL BALANCE

La agricultura da productos alimenticios (o industriales consumibles) y productos no consumibles (materia verde, maderas, residuos) cuyos valores energéticos pueden medirse con una misma unidad. Para obtenerlos conviene proporcionar un trabajo que utiliza dos tipos de energía, o sea : « directa » para realizarlo (electricidad, carburante, combustible), e « indirecta » (herramientas, abonos y productos varios), que tiene en cuenta la energía calculada para la fabricación de los mismos en el momento de utilizarlos.

### a) Productos.

La palma africana produce dos clases de aceite (palma y palmiste), además de escobajos procedentes de la separación de los frutos y de la inflorescencia, de las fibras que resultan de la extracción del aceite de la pulpa, y de las cáscaras previa trituración de las nueces para la obtención de la almendra. También produce hojas, y su estipe crece cada año en 40 a 60 cm.

Las cáscaras y fibras que resultan del procesamiento han sido utilizadas muy rápidamente como fuente de energía para producir el vapor necesario en los tratamientos de los frutos. Sin embargo las varias explotaciones no siempre las utilizan totalmente, tanto más cuanto que hay que disponer de calderas especiales. Tampoco se queman siempre los escobajos para obtener cenizas, que contienen muchos elementos minerales (potasio y magnesio). Por último se deja en el suelo el resto de materia verde (hojas) para que pueda descomponerse lentamente restituyendo la materia orgánica y los elementos minerales.

### b) Medios consumidos.

La palma de cultivo intensivo produce durante unos 20 años a partir de los 2 años y medio a 3 años (es una planta perenne). Necesita mano de obra, medios mecánicos, productos, desde la

preparación de la tierra y durante todo su desarrollo para el mantenimiento, la fertilización, los tratamientos fitosanitarios y la cosecha. Por tener que tratarse la producción en un plazo de 24 horas después del corte, la explotación de un palmeral necesita la construcción de una planta procesadora en la propia plantación, y por lo tanto la utilización de una cierta cantidad de energía, rechazándose al final de la fabricación una cierta cantidad de efluentes.

## II. — ELEMENTOS DE CÁLCULO

### a) Productos agrícolas.

Una madera con un 80 p. 100 de humedad tiene un poder calorífico de 1 000 a 2 000 kcal/kg de materia. Este poder calorífico es de unas 4 000 kcal/kg con un 10 p. 100 de humedad, o sea después de eliminada la mayor parte de su humedad constitutiva. Por ser un factor esencial el conocimiento preciso del porcentaje de humedad, para mayor comodidad en la continuación del estudio se acordó calcular todos los datos de la biomasa con un valor medio del poder calorífico de 4 000 kcal/kg que corresponde a un dato más o menos común entre los productos vegetales que contienen unos 10 p. 100 de humedad. (2,5 kg de materia seca equivalen a poco más o menos 1 kg de fuel oil.) Se adoptará un valor un poco mayor para ciertos productos más ricos en carbono, como las cáscaras de las nueces de palma, o sea por ejemplo 5 500 kcal/kg al 10 p. 100 de humedad.

Para evaluar el calor de combustión del aceite se ha tomado como referencia la relación de Bentram :

$$W \text{ (expresado en kcal/kg)} = (11\,380 - IJ) - (9,15 \times IS)$$

(IJ = índice de yodo ; IS = índice de saponificación)

que da lo siguiente : 9 500 kcal/kg para el aceite de palma, y 9 073 kcal para el aceite de palmiste.

### b) Materias consumidas.

Los gastos directos de electricidad, carburantes y combustibles se estiman de conformidad con los datos levantados en la literatura. Para los gastos indirectos referentes a las herramientas, se adoptó una fórmula sencilla en la que interviene la energía media necesaria para la fabricación de las mismas, el número total de horas de utilización antes de la reposición y el número anual de horas de uso. Así por ejemplo :

$$\frac{(x \text{ kcal/kg} \times \text{peso del equipo en kg}) \times \text{número anual de horas}}{\text{Número total de horas de utilización}}$$

### c) Análisis del balance.

Antes de analizar el grado de eficacia del balance, cabe recordar que el numerador del informe :

$$I_e = \frac{\text{energía producida}}{\text{energía consumida}}$$

evoluciona según la productividad de la planta y la intensidad de empleo de las materias producidas. Algunas explotaciones de palma africana no utilizan las fibras y cáscaras (o utilizan tan sólo parte de las mismas), por lo que estos valores no pueden quedar integrados en el término superior del quebrado (o sólo pueden serlo de modo proporcional). Por lo tanto, cuanto más provecho se saca de la materia producida con relación a la energía consumida, más se mejora el balance. En caso contrario lo que permite lograr el mismo resultado es la reducción del denominador (economía de energía).

(1) Agrónomo IAN, Director Adjunto del Departamento Palma del I.R.H.O., 11, Square Pétrarque, 75016 Paris (France).

Como se quiera ser muy preciso, se tendría que cargar en cuenta del balance las varias pérdidas (aceite, desechos), abonándose en cuenta el valor energético de las tortas de palmistes o las cantidades de elementos minerales restituidos por la descomposición de la materia verde que se deja en el suelo. En realidad no siempre es fácil realizar un análisis tan pormenorizado. Basta con disponer de los elementos necesarios a la evidencia de los parámetros más importantes y de los problemas esenciales para los que se puede tomar medidas de corrección.

#### d) Elementos básicos.

Se acordó expresar el poder energético en kilojoules (kJ):

1 kilocaloría = 4,185 kilojoules,

1 TEP (tonelada de equivalente petróleo)

= 10 000 termias

=  $10 \times 10^6$  kcal

=  $41,85 \times 10^6$  kJ

— 1 kg aceite de palma = 39 758 kJ;

— 1 kg aceite de palmiste = 37 971 kJ;

— 1 l gasolina = 46 880 kJ;

— 1 l gasoil = 41 850 kJ;

— 1 kg materia vegetal al 10 p. 100 de humedad = 16 700 kJ (madera, peciolo, hojas, escobajos);

— 1 kg cáscaras (alto contenido de carbono) al 10 p. 100 de humedad = 23 000 kJ;

— 1 kg carbón de tierra = 33 480 kJ;

— Trabajo humano = 5 442 kJ/jornada laboral;

— Fabricación de máquinas, vehículos, tractores = 71 982 kJ/kg de peso;

— Construcción de edificios, ingeniería civil = 100 464 kJ/m<sup>2</sup> de superficie;

— Para la producción de electricidad = 10 000 kJ/kWh;

— Fertilizantes

= 83 700 kJ/kg de elemento N puesto plantación,

= 8 370 kJ/kg de K<sub>2</sub>O puesto plantación,

= 12 555 kJ/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> puesto plantación,

= 20 255 kJ/kg de MgO puesto plantación,

= 41 850 kJ/kg de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> puesto plantación;

— Productos fitosanitarios (productos comerciales) = 100 440 kJ/kg de p.c.;

— Riego =  $3,6 \times 10^6$  kJ/ha/año;

— Transporte: según las normas inglesas convertidas, se estima el gasto energético en 1 674 kJ/tonelada kilométrica (# 40 l de gasoil por 100 km para un camión de 10 t), conviene considerar que el transporte de productos, carburantes, aprovisionamientos, fertilizantes, equipo (internos o externos a la plantación) representa el doble del aceite producido y la distancia media, establecida arbitrariamente, es la que separa la plantación del poblado más cercano.

— Utilización del avión (como mera indicación) = 26 156 kJ/tonelada métrica.

### III. — BALANCE ENERGÉTICO DE UNA PLANTACIÓN DE PALMA AFRICANA

Para mayor comodidad de la ponencia, se acordó escoger una unidad de **5 000 ha**, en la que se sembró un material vegetal de buena calidad, localizada bien sea en una comarca con suelos buenos y con déficit hídrico anual de 200 mm, o en una comarca de suelos medianos con déficit hídrico reducido, o sea con

potencialidad de aproximadamente **22 toneladas de racimos por hectárea**.

En el cuadro I quedan resumidas las principales características de la citada plantación, y en el cuadro II constan los elementos materiales correspondientes.

Se estimó el valor energético amortizable cuya cuota anual debe intervenir en el balance, en el cuadro III.

El cuadro IV y la figura 1 se refieren a los productos y el cuadro V vale para las materias consumidas.

### IV. — DISCUSIÓN (Cuadro IV)

Por el poder calorífico medio de los aceites de palma y palmiste parecido al del gasoil, las plantaciones industriales pueden producir un importante equivalente energético, del orden de 4,7 TEP/ha. Sin embargo es interesante advertir que la suma de poderes caloríficos de las cáscaras y de las fibras es casi equivalente a la cantidad de energía que necesita la unidad de extracción (con 1,0 TEP contra 1,2 TEP). O sea que basta con instalar calderas mixtas o adaptadas a la alimentación con cáscaras y fibras, para realizar economías financieras y energéticas considerables respecto a las calderas de fuel-oil.

Ahora bien, por no conocerse de un modo preciso los poderes caloríficos de estas materias secas, puede ser que la energía que proporciona el uso de las mismas sea superior a las estimaciones de este primer balance.

Al nivel de las **materias consumidas** (Cuadro V), se observa que los gastos directos casi son los únicos compresibles, pero también que los **abonos consumidos no son más costosos** desde el punto de vista energético que el petróleo agrícola o que el carbón doméstico, si es que la fórmula no incluye abonos nitrogenados. E incluso con el nitrógeno, el total de fertilizantes es equivalente al total de carburantes consumidos. Considerando toda la importancia que conviene atribuir a la fertilización para el mantenimiento de la producción, no me parece racional tratar de hacer economías en este aspecto.

De contabilizarse en el numerador del balance energético sólo los productos utilizados por la explotación, se obtiene varios **grados de eficiencia**. Como ejemplo se puede imaginar tres hipótesis de utilización:

1. Aceites de palma y palmiste además de cenizas de escobajo sólo.
 
$$\frac{196,3 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3,0 \text{ (-)}$$
2. Aceites de palma y palmiste, cenizas de escobajos además de totalidad de cáscaras y fibras.
 
$$\frac{238,5 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 3,7 \text{ (+ 23 \%)}$$
3. Aceites de palma y palmiste, cenizas, cáscaras y fibras además de energía de escobajos y hojas (bajo una forma a establecerse).
 
$$\frac{433,7 \times 10^6 \text{ kJ}}{65,31 \times 10^6 \text{ kJ}} = 6,64 \text{ (+ 121 \%)}$$

CUADRO I. — Datos básicos de una plantación tipo. Cantidad de materia verde y de productos

Superficie en producción: 5 000 ha.

Producción total en toneladas de racimos 110 000 t = 22 t racimos/ha { 38 p. 100 escobajos frescos = 8,40 t al 75 p. 100 de humedad.  
1 p. 100/toneladas racimos de cenizas de escobajos = 0,22 t.

Promedio de extracción — 21 p. 100 aceite de palma = 4 620 kg/ha,  
— 1,5 p. 100 aceite de palmiste = 330 kg/ha,  
— Torta de palmiste = 300 kg/ha aproximadamente (a título de indicación),

Cáscaras = 5 p. 100 del tonelaje de racimos = 1 100 kg/ha — 22 p. 100 de humedad,

Fibras = 9 p. 100 del tonelaje de racimos = 2 000 kg/ha — 45 p. 100 de humedad.

Peso de una hoja adulta = 10 kg entre los cuales 33 p. 100 de folíolos y 67 p. 100 de peciolo y raquis.

Número de hojas producidas cada año = 25.

Número de árboles/hectárea de producción = 135.

Crecimiento medio del estipe = 60 cm/año.

Peso verde del estipe = 2,400 kg/cm al 75 p. 100 de humedad.

CUADRO II. — Elementos promedios de cálculo. Equipo

Equipo para desmonte, preparación, carreteras, mantenimiento, transporte, personal técnico, etc.		
Tractores 200 CV	— amortización 8 000 h	20 toneladas/tractor,
Tractores 150 CV	— amortización 8 000 h	14 toneladas/tractor,
Vehículos obras públicas 150 CV	— amortización 8 000 h	15 toneladas/vehículo,
Tractores 80 CV	— amortización 6 000 h	4 toneladas/tractor,
Camiones 8 toneladas	— amortización 100 000 km	6 toneladas/camión,
Vehículos de enlace y para personal técnico vario	— amortización 50 000 km	1,5 tonelada/vehículo,
Equipo agrícola : a título de información.		
Edificios		
Viviendas directivos — personal de mando medio y trabajadores		50 000 m <sup>2</sup> (= 10 m <sup>2</sup> /ha),
Servicios (taller, garaje, infraestructura social, cobertizo)		5 000 m <sup>2</sup> (= 1 m <sup>2</sup> /ha).
Planta procesadora		
40 t racimos/hora de capacidad	— 3 000 horas de funcionamiento/año,	
Superficie de ingeniería civil — plataforma	— 20 000 m <sup>2</sup> (4 m <sup>2</sup> /ha),	
Peso total — equipo	— 1 700 toneladas (0,34 t/ha).	

## Consumo estándar

Tractor Diesel : 0,12 l gasoil/CV/hora  
 Vehículo gasolina : 0,19 l gasolina/CV/hora  
 Utilización promedia : 1 500 horas/año  
 Planta procesadora : 500 kg vapor/tonelada racimos. Para producir el vapor y la electricidad necesarios hace falta 680 kcal/kg de vapor con rendimiento global de 65 p. 100 o sea 4 185 kJ/kg de vapor,  
 Producción eléctrica de complemento para viviendas y servicios : poco más o menos 1 lámpara de 100 vatios durante 5 horas/día o sea 1 100 personas y 365 días : 2 millones de kWh (400 kWh/ha),  
 Carbón para calefacción doméstica : aproximadamente 1 kg/día/trabajador.

CUADRO III. — Valores energéticos invertidos y amortizables

Creación (valor amortizable en 20 años) de n1 a n2 (3/4 años)	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Mano de obra : 152 j/ha	8,27
Tractor 200 CV 8 horas — consumo/ha 192 l (8,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) más valor energ. × 8 h (1)	9,47
Tractor 150 CV 10 horas — consumo/ha 180 l (7,5 × 10 <sup>6</sup> kJ) más valor energ. × 10 h	8,75
Tractor 80 CV 15 horas — consumo/ha 145 l (6,0 × 10 <sup>6</sup> kJ) más valor energ. × 15 h	6,73
Vehículos ligeros — Transportes varios — 20 000 km/año/vehículo + 400 t/km	0,68
Abonos : nitrogenados 285 kg = 57 kg N /ha	4,77
potásicos 230 kg = 138 kg K <sub>2</sub> O /ha	1,16
fosfatados 120 kg = 48 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	0,60
magnesianos 195 kg = 59 kg MgO /ha	1,24
boratados 45 kg = 20 kg B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ha	0,84
Herbicida : 5 kg	0,50
Insecticida : 25 kg	2,51
Edificios : 11 m <sup>2</sup> /ha	1,11
Planta procesadora, edificio + equipo 402 000 + 25 000	0,43
Total	47,06
Total amortizable/ha/año	2,38

(1) Véase apartado b) capítulo II

Localizándose entre las hipótesis 1 y 2 (muchas veces en la situación 2) gran parte de las explotaciones industriales, el balance energético del cultivo de la palma es muy satisfactorio.

En efecto, ocupa un lugar conveniente respecto a ciertos valores de eficiencia citados por Carl W. Hall, decano del colegio de ingeniería agrícola de la Universidad del Estado de Washington (coloquio del CENCA en París, — 27-29 febrero 1980) :

— cultivos en rotación	65
— arroz - frijoles	41
— maíz (cosecha manual)	30
— caña de azúcar	5,0
— palma	3,7
— cereales	2,5
— mandioca	2,0
— papas	1,6
— bovinos	0,3
— avicultura	0,1

La partida de gastos directos más importante sigue el procesamiento (70 p. 100 de los gastos), pero se trata de un gasto proporcional a la producción (cuya energía puede proceder de las cáscaras y de las fibras que resultan de la fabricación). Los gastos indirectos no son muy compresibles por su índole, y por lo tanto el

grado de eficiencia depende esencialmente al parecer de los productos del numerador del balance y de los solos gastos directos de explotación del denominador.

Es interesante advertir por ejemplo en la hipótesis 2 (aceites + cenizas + cáscaras y fibras) que una disminución de producción (*a priori* importante) de un 15 p. 100 de racimos no modifica el grado de eficiencia sino en — 3,0 p. 100, debido a la proporcionalidad del gasto de energía para su tratamiento, cuando un rendimiento de extracción inferior en 2 puntos al porcentaje de 21 p. 100 desempeña un papel más importante (— 8 p. 100).

Si imaginamos al revés dentro de esta misma hipótesis 2, una situación de comodidad que induzca a multiplicar por dos los gastos de electricidad, combustible casero, consumo de carburante para los tractores y vehículos, la relación disminuye hasta el grado de 3,06 lo cual representa una reducción de eficiencia de — 17 p. 100.

O sea que la interpretación de un balance energético resulta complementaria de la interpretación de un balance económico. Muestra que ciertas economías no son de aconsejar al fin y al cabo (por ejemplo los fertilizantes), cuando otras, que *a priori* no tienen ninguna repercusión notable (gastos directos - carburantes) deben recomendarse, y hay que tener cuidado con la utilización máxima de la energía gastada para una mayor ganancia financiera (tasa de extracción).

CUADRO IV. — Balance energético. — Productos (extrantes), por ha de plantación (v. Fig. 1)

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
Aceite de palma = 4 620 kg .....	183,0
Aceite de palmiste = 330 kg .....	12,5
Escobajos 8 360 kg/ha o sea 2 322 kg de materia al 10 p. 100 de humedad a 16 700 kJ/kg (1) .....	38,8
220 kg cenizas equivalente de 66 kg de K <sub>2</sub> O + 11 kg MgO consumido .....	0,8
Cáscaras 1 100 kg/ha al 10 p. 100 de humedad = 950 kg a 23 000 kJ/kg .....	21,8
Fibras 2 000 kg/ha al 10 p. 100 de humedad = 1 220 kg a 16 700 kJ/kg .....	20,4
<b>Parte verde (75 p. 100 de humedad)</b>	
Hojas : 25 × 10 kg × 135 = 33 750 kg (de los cuales 11 100 de folíolos)	
Valor de peciolo y raquis = 6 280 kg al 10 p. 100 de humedad .....	104,9
Valor de folíolos secos = 3 083 kg al 10 p. 100 de humedad .....	51,5
Estipe: 60 cm × 2,4 kg × 135 = 19,4 t × 25 p. 100 = 5 400 kg al 10 p. 100 de humedad .....	(90,2)
Es de observar que los folíolos contienen elementos minerales en las siguientes proporciones :	
— 2,5 p. 100 N # 69 kg/ha,	
— 0,150 P # 4,2 kg (9,6 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/ha,	
— 1,0 K # 27,7 kg (33,4 K <sub>2</sub> O)/ha,	
que representan el equivalente energético en fertilizante de — 5,8 × 10 <sup>6</sup> para N/ha	
— 0,12 × 10 <sup>6</sup> para P/ha	
— 0,28 × 10 <sup>6</sup> para K/ha	
Total ..... 6,2 × 10 <sup>6</sup> /ha	
que también equivalen a 345 kg de sulfato amónico del comercio,	
24 kg de superfosfato triple del comercio,	
46 kg de cloruro potásico del comercio,	
415 kg/ha.	

(1) Se supone que la biomasa queda reducida a unos 10 p. 100 de humedad.

CUADRO V. — Productos consumidos (Intrantes), por ha de plantación

	× 10 <sup>6</sup> kJ/ha
<b>Directos</b>	
Energía eléctrica: $\frac{2 \text{ millones de kWh}}{5 000 \text{ ha}} = 400 \text{ kWh} \times 10 000 \text{ kJ}$ .....	4,0
Planta procesadora (ver cuadro II) .....	46,0
<b>Explotación</b>	
Tractor pesado 150 CV — 2 horas/ha — 36 l/ha (1,5 × 10 <sup>6</sup> kJ) .....	1,50
Tractor ligero 80 CV — 6 horas/ha — 58 l/ha .....	2,43
Transportes varios — 800 t/km × 1 674 kJ/t/km .....	1,34
Carbón casero — 1 kg/j/trabajador × 1 100 trabajadores × 365 j = 400 t .....	2,68
Vehículos ligeros — 20 000 km/año × 30 vehículos/5 000 ha .....	0,56
<b>Indirectos</b>	
Tractor pesado 150 CV — valor energético en peso por hora × 2 horas .....	0,25
Tractor ligero 80 CV — valor energético en peso por hora × 6 horas .....	0,29
Mano de obra 58 días .....	0,32
Abonos — Sulfato N (1) : 0	
— ClK : 225 kg = 135 kg/K <sub>2</sub> O = 1,13 × 10 <sup>6</sup>	
— Sulfato Mg : 150 kg = 45 kg/MgO = 0,94 × 10 <sup>6</sup>	
— Boro : 15 kg = 6,5 kg B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 0,27 × 10 <sup>6</sup> .....	2,34
Cenizas rentabilizadas .....	0,80
Productos fitosanitarios — 7 kg/ha .....	0,70
Cuota amortizable .....	2,10
<b>Total general</b> .....	<b>65,31</b>

(1) Se escogió un ejemplo en el que a la edad adulta es inútil emplear abonos nitrogenados que representan un alto valor energético. En el caso de unas plantaciones que utilizan por ejemplo 143 kg de urea/ha (o sea unos 57 kg de N), hay que recargar los costos « directos » en poco más o menos  $4,8 \times 10^6$  kJ, por lo que el total general viene a ser de  $70,1 \times 10^6$  kJ/ha.

## V. — POSIBLE MEJORA Y VIAS DE INVESTIGACIONES

Ahora se queman los escobajos para sacar cenizas destinadas a fertilizar las plantaciones. Sin embargo no se utilizan las calorías que esta combustión produce, siendo éste un asunto interesante de tratar.

Luego viene el problema de la **materia verde**. Las hojas que

representan unos 156 millones de kJ (o sea 3,7 TEP/ha) y que han sido desatendidas en el cálculo de eficiencia representan sin embargo una potencialidad que merece la pena tener en cuenta.

### a) Los peciolo.

Son poco descomponibles, y representan por sí sólo 2,5 TEP/ha en el ejemplo escogido. En la hipótesis de que 100 kg de materia



seca puedan producir 10 litros de alcohol (metanol), 5 600 kg de materia totalmente seca/año correspondrían a 560 litros. Considerando el que se necesitan unas 10 horas de tractor/ha/año a razón de 7/10 litros/hora para los trabajos agrícolas y de manipulación (o sea tan sólo 100 litros/ha/año), la plantación tendría un excedente teórico de casi 450 litros/ha/año.

### b) Los folíolos.

Son naturalmente descomponibles, y se da por supuesto que restituyen el equivalente de 415 kg de abono/ha (Cuadro IV).

Admitiéndose que el precio de la « tonelada equivalente petróleo » es de aproximadamente 250 US \$, se puede escoger entre el valor de los fertilizantes que se tendría que conseguir para compensar las pérdidas si se sacan las hojas de la plantación, y el valor del equivalente energético de la materia seca de dichos folíolos; esto equivale al fin y al cabo a elegir entre la compra de 415 kg de abono N, P, K, por un precio medio de 250 US \$ por tonelada (o sea 112 US \$), y el aprovechamiento de los folíolos para otros fines para producir 1,20 TEP (o sea poco más o menos 300 US \$).

Para poder decidir, habría que saber si el aporte de elementos minerales en el suelo que resulta de la descomposición de folíolos es efectivo y si se puede medirlo, y si la transformación de dichos folíolos en alcohol no saldrá más caro que la diferencia entre el valor de fertilizantes a adquirir y el valor de la fuente de energía obtenida a partir de los folíolos.

### c) Recuperación de la materia verde antes de la resiembra.

En el momento de renovar la plantación (al cabo de 20 años de explotación), la materia verde a eliminarse antes de la resiembra es de aproximadamente:

— 120 estipes de 2 500 kg verdes	
= 300 000 × 25 p. 100 .....	75 000 kg secos
— 120 veces 20 hojas de 10 kg verdes	
= 24 000 × 25 p. 100 .....	6 000 kg secos
	81 000 kg secos.

Después de reducidas a virutas combustibles, tales 80 toneladas representarían  $1,34 \times 10^9$  kJ, o sea el equivalente de 32 TEP/ha; después de transformadas en alcohol darían 8 000 litros de metanol.

### d) Aguas negras de la planta de tratamiento.

Las aguas negras representan el 60 p. 100 del peso de racimos tratados (procediendo de la clarificación el 45 p. 100, de los condensados de esterilización el 10 p. 100 y del hidrociclón el 5 p. 100). Como se separe previamente el agua de los condensados y del hidrociclón, los 45 p. 100 de aguas negras restantes (Cuadro I) tendrían los contenidos siguientes:

- 4 a 8 kg/m<sup>3</sup> de grasas,
- 0,5 a 0,8 kg/m<sup>3</sup> de nitrógeno,
- 1,3 a 2 kg/m<sup>3</sup> de potasio.

Éstas son cantidades nada despreciables al nivel de una plantación, que así podría disponer de unos 10 m<sup>3</sup>/ha/año (o sea 15 a 20 kg de potasio) como abonos, de ser posible la concentración del contenido sólido (por deshidratación, utilizándose quizás el calor de la combustión de los escobajos en el incinerador) para facilitar la aplicación.

También se podría considerar la producción de « biogas » por fermentación anaerobia. Como información, existe en Malasia cerca de una fábrica de 60 t de racimos/hora de capacidad, « digestores » para el tratamiento de las aguas de desecho por vía anaerobia, que producen 283 m<sup>3</sup> (o sea 10 000 cubic feet) de gas por hora. Por último, después de la separación de las grasas y a una escala reducida, se puede imaginar la constitución de un medio de cultivo para el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), cuyas características son el alto contenido de proteínas de las hojas (31 p. 100) y una de las mayores productividades del reino vegetal con 150 t/ha/año de materia verde.

## VI. — ¿ SERÁ LA PALMA AFRICANA UN CULTIVO ENERGÉTICO ?

Con el alza de productos energéticos de origen fósil y la incertidumbre de aprovisionamientos, se ha vuelto de actualidad el empleo de otras formas de energía, especialmente las llamadas

« energías renovables », que resultan casi esencialmente de la fotosíntesis.

Las plantas que se suele escoger por concepto de cultivos energéticos son características por su contenido de hidrocarburos transformables en alcohol, o por su contenido en aceite metanolizable. Entre tales plantas los cultivos oleaginosos son los que ofrecen las mayores ventajas, en especial la palma africana, puesto que mediante una transformación se obtiene aproximadamente un 85 p. 100 de carburante diesel a partir del aceite bruto, cuando en los cultivos no oleaginosos el rendimiento en combustible/ha es más bajo y el balance energético es parecido o hasta inferior, según muestran los ejemplos subsiguientes:

- Caña de azúcar: 4 toneladas de azúcar por hectárea,  
2,8 t de alcohol,  
rendimiento: 70 p. 100,  
grado de eficiencia: 5,0,
- Mandioca: 4,5 t de almidón,  
2,5 t de alcohol,  
rendimiento: 55 p. 100,  
grado de eficiencia: 2,0.

O sea que el aceite de palma presenta características interesantes para la sustitución de « carburante pesado ». Aunque según ciertos datos cifrados su rendimiento es un poco menos eficaz que el de hidrocarburos, puesto que se necesitarían 255 g de aceite metanolizado por caballo/hora, cuando en el caso del gasoil se necesitan 210 g, se podría mejorar esta falta por el aumento de las relaciones de compresión de los motores. Desde el punto de vista técnico es perfectamente posible el uso del mismo como carburante pesado, pero su costo como combustible puede ser un tema de reflexión.

El precio de costo salida de fábrica del aceite de palma varía notablemente, de 150 US \$ en Indonesia a 350/380 US \$ en América latina por tonelada métrica, incluidas las amortizaciones. O sea que ahora el aceite de palma sólo podría competir con el gasoil en un país que aplique tasas muy elevadas en los carburantes, y que disponga de un suplemento de recursos alimenticios o de unas importantes superficies a poner en cultivo (tal es el caso por ejemplo del Brasil).

Modificándose naturalmente esta situación conforme el precio del carburante fósil vaya aumentando, no es utópico su uso para este fin. Sin embargo conviene reservarse el juicio al respecto, porque la población subalimentada del tercer mundo crece más de prisa de lo que permiten los progresos de la agricultura, y la utilización masiva de un producto alimenticio básico en la producción de energía causaría un grave desequilibrio, especialmente en el caso de la producción de oleaginosas, que es muy deficiente. Así sería una pena desviar de su vocación esencial al cultivo oleaginoso más productivo en el mundo por unidad de superficie.

Por otro lado cabe advertir que el aceite de palma no puede llegar a competir seriamente con los aceites de petróleo porque para impedirlo los países de la OPEP podrían bajar sus precios.

En cambio se puede pensar en una valorización de estos productos (por ejemplo la parte concreta del aceite de palma), mediante la producción de proteínas por bioconversión con ayuda de los recursos energéticos existentes excedentes, a partir de los subproductos vegetales de las plantaciones (escobajos, hojas), o en acometer investigaciones para utilizar ciertas palmas silvestres productoras de grasas (Babasu).

## CONCLUSIÓN

La interpretación de un balance energético permite evidenciar los principales parámetros y su papel respectivo en el grado de eficiencia de la gestión técnica y económica de una plantación. Es interesante anotar, por ejemplo, que las partidas energéticas referentes a los trabajos agrícolas (tractores), a los transportes (distancias a recorrerse) y a los vehículos ligeros desempeñan un papel esencial, que a veces supera a la partida de fertilización y en todo caso resulta más notable que la partida de « procesamiento » que evoluciona de modo proporcional a la producción.

Este estudio mostró además que muchos puntos quedan por estudiar, como por ejemplo los varios poderes caloríficos de las materias secas, de modo a especificar mejor las disponibilidades energéticas indispensables a la extracción industrial del aceite (que seguramente serán cubiertas por las cáscaras y/o las fibras).

Por último algunas vías de investigaciones parecen muy abiertas, especialmente las que se refieren a los aspectos siguientes:

• **tecnología :**

- recuperación de la energía producida por la combustión de escobajos,
- separación de los condensatos,
- empleo de aguas residuales (fertilización, biogas, jacinto),

• **Agronomía,** con el estudio del problema de la utilización de las hojas durante la fase de cultivo :

- ¿ Es interesante o no dejar las hojas en el suelo ?
- ¿ Es rentable la pirolisis de las mismas, y/o su transformación en metanol ?
- ¿ No sería interesante en el caso de un importante programa anual de tumba, reducir a virutas los estipes, bien sea con miras a comprimirlas en forma de ladrillos para almacenarlos y utilizarlos más adelante, o a reservarlos para la fermentación cuando se

hayan solucionado los problemas de transformación de la celulosa en azúcar ?

• **química de las grasas,** con fórmulas de aprovechamiento (proteínas) cuyas investigaciones están en curso, y que todavía permitirán mejoras notables ;

• **y con la transformación directa en carburante pesado,** que es realizable pero no es muy deseable.

El examen del balance energético de una plantación tipo de palma africana muestra, por último, que con un **grado de eficiencia de aproximadamente 3,7** este cultivo resulta uno de los más interesantes, y no es utópico considerar el empleo total de su potencial energético con miras a alcanzar (al nivel de materia prima, claro está) un grado de eficiencia total de 8,0 o sea un **equivalente energético disponible de 12,5 TEP/ha/año**, siendo esto señalado.



# Land Rover



## PARTOUT EN AFRIQUE

<b>NOSOCO-SENEGAL</b>	<b>Dakar</b>
<b>CFCI-MATFORCE</b>	<b>Abidjan</b>
<b>U. A. C. - TOGO</b>	<b>Lomé</b>
<b>JOHN WALKDEN et Cie</b>	<b>Cotonou</b>
<b>NIGER-AFRIQUE</b>	<b>Niamey</b>
<b>CIACAM</b>	<b>Douala</b>
<b>HATTON ET COOKSON</b>	<b>Libreville</b>
<b>S. C. K. N. - CONGO</b>	<b>Brazzaville</b>

Bureaux à Paris : \_\_\_\_\_

**CNF - 157, Bd Haussmann - 75382 PARIS - CEDEX 08 - Tél. : (1) 563.17.22**

## PETITE ANNONCE

### DEMANDE D'EMPLOI

M. LUTERNAUER, Ing. chimiste, ICG, Ing. d'affaires à l'exportation C.N.A.M.,  
spécialiste huiles, margarines, savons, énergie biomasse

**connaissant l'Afrique**

**cherche poste production ou technico-économique.**

S'adresser à la Revue : N° 494.